

CARBONO ORGÂNICO EM SOLOS SOB FLORESTA NA AMAZÔNIA CENTRAL

J.D.O. Marques¹, F.J. Luizão², W.G. Teixeira³, E.M. Araújo⁴

¹Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus de Manaus Centro – IFAM. E-mail: jdomarques@hotmail.com; ²Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, INPA. E-mail: fjluzao@inpa.gov.br; ³Pesquisador da Embrapa, EMBRAPA SOLOS. E-mail: wenceslau.teixeira@embrapa.br; ⁴Professora da Universidade Federal do Amazonas, UFAM, E-mail: elizalanemarques@gmail.com

Artigo submetido em 30 de junho de 2013 e aceito em setembro/2013

RESUMO

O carbono orgânico terrestre é alterado pelas interferências sobre o ambiente, sendo que a sua estabilidade ainda necessita de quantificações mais precisas para determinar seus teores e estoques. Este estudo quantificou os teores e estoques de carbono orgânico do solo sob floresta primária até 2 m de profundidade, em diferentes posições topográficas, na Reserva Biológica do Cueiras, Manaus/ZF2, km 34, na Amazônia Central. Coletaram-se amostras de solos ao longo de um transecto de 850 m num gradiente topográfico Latossolo (platô), Argissolo (vertente) e Espodosolo (baixo). Utilizaram-se 9 parcelas de 20 x 40 m, durante cinco anos consecutivos. Os estoques de carbono do solo foram obtidos multiplicando a

PALAVRAS-CHAVE: Carbono orgânico, Estoque de Carbono, Floresta Amazônica

concentração de carbono pela densidade do solo e espessura de camadas do solo. Delimitou-se uma microbacia hidrográfica, extrapolando-se os teores de carbono obtidos no transecto como forma de avaliar o potencial de estocagem de carbono em uma área de 2.678,68 ha. Entre os solos argilosos, os maiores estoques de carbono foram observados sob Latossolo tanto a nível de transecto (90 a 175,5 Mg ha⁻¹ de C) quanto a nível de área da microbacia (100,2 a 195,2 Mg ha⁻¹ de C). Os estoques de carbono sob solo arenoso (Espodosolo/baixo) foi superior aos solos argilosos ao longo do transecto (160 a 241 Mg ha⁻¹ de C) e próximo a eles na área delimitada da Microbacia do Igarapé Asu (96.90 a 146.01 Mg ha⁻¹ de C).

ORGANIC CARBON IN FOREST SOILS IN CENTRAL AMAZONIA

ABSTRACT

The organic carbon is altered by interference on the environment, and its stability still requires more precise measurements to determine its contents and stocks. This study quantified the levels and stocks of soil organic carbon under primary forest up to 2 m depth, at different topographic positions, at the experimental site of Reserva Biológica do Cueiras, Manaus/ZF2, km 34, in the Central Amazon. Soil samples were collected along a transect of 850 m on topographic gradient Oxisol (plateau), Ultisol (slope) and Spodosol (valley). It was used 9 plots of 20 x 40 m. The stocks of soil carbon were obtained by multiplying the carbon concentration, bulk density

KEY-WORDS: organic carbon, carbon stock, Amazonian forests.

and thickness of soil layers, it was used 5 consecutive years of data. The watershed was delimited and the carbon content obtained in the transects was extrapolated as a way to evaluate the potential for carbon stocks in an area of 2678.68 ha. Among the clay soils Oxisol and Ultisol (strand), the largest stocks of carbon were observed in Oxisol at both the transect (90 to 175.5 Mg C ha⁻¹) as the level of area watershed (100.2 to 195.2 Mg C ha⁻¹). The carbon stocks under sandy soil (Spodosol) was superior to clay soils along the transect (160-241 Mg C ha⁻¹) and near them in the defined area of the Watershed Igarapé Asu (96.90 to 146.01 Mg C ha⁻¹).

CARBONO ORGÂNICO EM SOLOS SOB FLORESTA NA AMAZÔNIA CENTRAL

INTRODUÇÃO

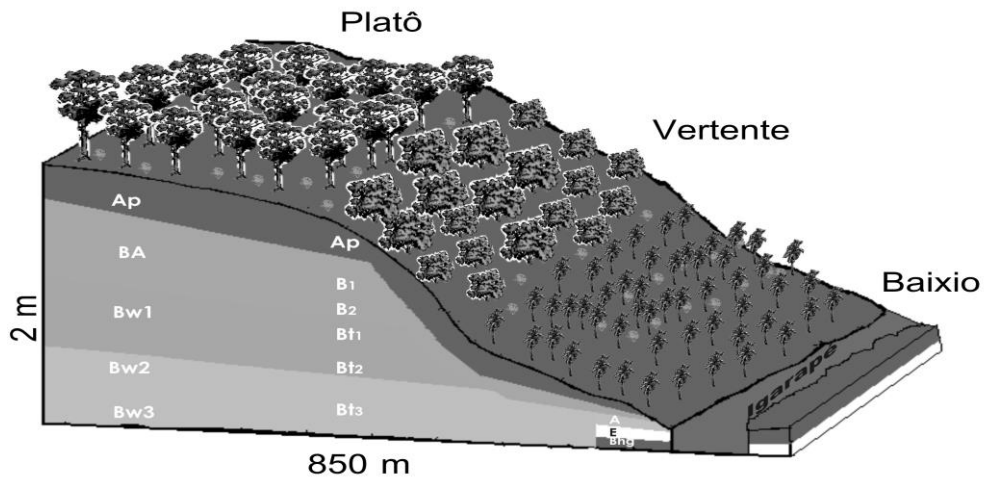
Os serviços ambientais proporcionados pela Floresta são inúmeros tais como: manutenção da temperatura, sombreamento, participação no ciclo da água e do carbono e proteção a biodiversidade (FEARNSIDE, 2009). Atualmente, um grande destaque tem sido concedido a Amazônia em termos dos estoques de carbono contidos nos seus ecossistemas como precursores em potencial de aumentos nas concentrações de CO₂ atmosféricos. Essa condição desperta uma preocupação mundial sobre as condições de vida futura, motivando o desenvolvimento de estudos em diversas regiões com o intuito de prever os estoques de carbono no solo, na biomassa, nos rios, na solução do solo, bem como o potencial de sua liberação para a atmosfera. Esse enfoque se sobressai em função da contribuição das mudanças no uso do solo no aumento das concentrações de CO₂ atmosférico, aliado as emissões de CO₂ pelos combustíveis fósseis (IPCC, 2007).

Determinar os estoques de carbono no solo, bem como os atributos do solo que interferem nesse estoque são de extrema importância para determinar práticas de manejo que mantenham o carbono no meio terrestre e formas adequadas de conservação do ambiente. As informações recentes sobre carbono estocado no solo são utilizadas em modelos matemáticos como forma de prever o potencial de emissão para a atmosfera e como forma de avaliar a qualidade ambiental dos ecossistemas florestais.

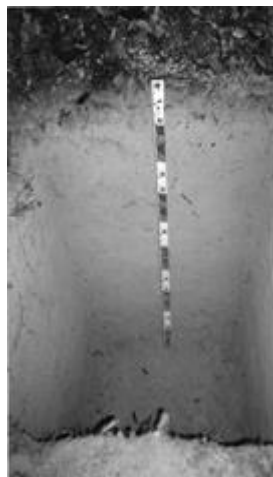
Devido ao seu tamanho, característica, processos naturais e antropogênicos, a Amazônia, pode modificar significativamente os estoques de carbono e água entre a biosfera e atmosfera (MARLAND et al., 2008). Nesse contexto, quantificou-se os teores e estoques de carbono orgânico do solo sob floresta primária até 2 m de profundidade, em diferentes posições topográficas.

MATERIAL E MÉTODO

A pesquisa foi desenvolvida na Reserva Biológica do Cueiras, que abrange uma área de aproximadamente 22.700 ha, localizada a 50 km ao Norte de Manaus, no km 34 da estrada vicinal ZF-2 (coordenadas geográficas: 2°35'21,08''S e 60°06'53,63''W). O experimento foi desenvolvido em gradiente topográfico de 850 m constituído por: platô, vertente e baixio) representativo da área estudada (Figura 1).



Latossolo (Platô)



Argissolo (Vertente)



Espodossolo (Baixo)

Figura 1 - Esquema representativo do ambiente estudado com os seus respectivos solos

Foram utilizadas nove parcelas permanentes de 20 m x 40 m, três em cada posição topográfica para coleta sucessivas de amostras de solos entre 2005 a 2010, uma coleta a cada ano, no mesmo período. Amostras de solos foram coletadas ao longo de um transecto de 850 m, nos horizontes pedogenéticos através de abertura de perfis de solo e tradagens nas áreas durante o período de coleta. Os perfis tinham as dimensões de 1,5 m x 1,5 m x 2,0 m. A identificação dos horizontes e a descrição morfológica foram realizadas conforme Santos et al. (2005). A análise granulométrica, densidade do solo e distribuição dos poros foram realizadas a partir de amostras coletadas nos horizontes do solo conforme Embrapa (1997), sendo amostras deformadas para análise granulométrica e indeformadas para determinação da densidade do solo e distribuição dos poros.

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997). A densidade do solo foi determinada em amostras indeformadas coletadas com amostrador tipo Uhland. A determinação da distribuição de poros por tamanho foi obtida a partir das amostras utilizadas para obtenção da densidade do solo, com separação entre macro e microporos por drenagem em tensão de 10 kPa. A porosidade total foi calculada pela relação entre densidade do

solo e densidade de partícula. As amostras para determinação dos teores de carbono foram coletadas nos horizontes do solo sendo as análises realizadas em analisador Fisons Instruments NA 1500 NC.

Os estoques de carbono foram calculados a partir dos valores de carbono, dos valores da densidade do solo e das camadas de solos amostradas (BERNOUX et al., 1998), considerando: $E = D_s \times A \times Q$ (1), em que E é o estoque de C do solo convertido em hectare ($Mg\ ha^{-1}$); D_s , a densidade do solo ($g\ cm^{-3}$); A , a espessura da camada amostrada (cm); e Q , o teor de carbono do solo (%). Os estoques foram determinados nas camadas do solo nas camadas de 0-40 cm, 0-100 cm e 0-200 cm, nas posições sob platô (Latosolo) e vertente (Argissolo). Os valores dos estoques foram corrigidos conforme Sisti et al. (2004), baseado nos trabalhos de Ellert e Bettany (1995), obtendo-se os estoques a partir de:

$$C_c = \sum_{i=1}^{n-1} C_{ti} + \left[M_{tn} - \left(\sum_{i=1}^n M_{ti} - \sum_{i=1}^n M_{si} \right) \right] * C_{tn} \quad (2)$$

onde:

C_s = *estoque de carbono total, corrigido em função da massa de solo da área estudada;*

$\sum_{i=1}^{n-1} C_{ti}$ = *somatório dos estoques de carbono do solo da primeira penúltima camada amostrada ($Mg\ ha^{-1}$);*

M_{tn} = *massa do solo da última camada amostrada em cada parcela sob floresta ($Mg\ ha^{-1}$);*

$\sum_{i=1}^n M_{ti}$ = *somatório da massa total do solo amostrado sob floresta ($Mg\ ha^{-1}$);*

$\sum_{i=1}^n M_{si}$ = *somatório da massa total do solo amostrado nas parcelas sob floresta ($Mg\ ha^{-1}$);*

C_{tn} = *teor de carbono do solo na última camada amostrada ($Mg\ C\ Mg^{-1}$ de solo).*

Sob solo do baixio, os estoques foram calculados para as profundidades: 0-25 cm e 0-120 cm, devido à intensidade de raízes na superfície do solo e a interferência da altura do lençol freático, respectivamente.

Extrapolou-se os estoques obtidos no transecto para uma Microbacia do Igarapé Açú, com 2.678,68 ha, pertencente à hidrografia do Cueiras para a estimativa do seu estoque de carbono total, utilizando-se a função hidrologia do software arcgis 9.0. Com a imagem STRM (Shuttle Topographic Radar M) 30m foram calculados as acumulações e direções dos fluxos, permitindo a delimitação da área. Considerou-se a área de platô com altitude compreendida entre 90-120 m, vertente entre 75- 90 m e baixio entre 50-75 m. Assim, calculou-se a área correspondente às três classes distintas delimitadas como platô (41,5%), vertente (35,8%) e baixio (22,6%).

Os dados de carbono, atributos do solo e estoques de carbono no solo foram submetidos à análise de variância, e as médias, comparadas pelo teste de Tukey a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos foram classificados como: Latossolo Amarelo distrófico textura muito argilosa (LAd), no platô, Argissolo Vermelho-Amarelos distrófico textura argilosa (PVAd), na vertente, e Espodosolo Cárbicos Hidromórficos típicos, no baixo. A análise granulométrica revelou no Latossolo (platô) teores de argila de 687 gkg^{-1} , na superfície, e de 852 gkg^{-1} , a 2m de profundidade, indicando uma textura argilosa a muito argilosa (Tabela 1).

Tabela 1 – Atributos físicos dos solos no transecto na Reserva Biológica do Cuieiras, Manaus, AM.

Solo	Prof. (cm)	Argila (gkg^{-1})	Densidade (gcm^{-3})	Carbono (%)	Porosidade total ($\text{m}^{-3}\text{m}^{-3}$)		
					Macroporos	Microporos	
Latossolo (Platô)	0-10	687,08 c	1,05 c	2,97 a	0,55 a	0,12 a	0,42 c
	10-45	819,46 a	1,22 a	1,36 b	0,48 b	0,03 c	0,45 b
	45-82	788,66 b	1,19 b	0,65 c	0,52 a	0,06 b	0,45 b
	82-108	855,37 a	1,22 a	0,52 d	0,52 a	0,05 b	0,47 a
	108-200 ⁺	852,79 a	1,22 a	0,34 e	0,53 a	0,05 b	0,47 a
Argissolo (Vertente)	0-14	301,01 d	1,20 b	2,31 a	0,49 b	0,21 a	0,28 d
	14-38	422,45 c	1,30 a	1,00 b	0,45 b	0,12 d	0,32 ab
	38-59	478,24 b	1,34 a	0,57 c	0,52 a	0,21 a	0,30 c
	59-84	493,31 a	1,35 a	0,42 d	0,51 a	0,19 b	0,31 bc
	84-138	497,63 a	1,40 a	0,28 e	0,54 a	0,22 a	0,32 ab
138-200 ⁺	464,21 b	1,42 a	0,21 e	0,51 a	0,17 c	0,33 a	
Espodosolo (Baixo)	0-25	18,12 a	1,45 c	4,37 a	0,48 a	0,39 a	0,08 a
	25-59	10,00 b	1,64 b	0,61 b	0,39 b	0,36 b	0,02 b
	59-120 ⁺	9,00 b	1,72 a	0,52 c	0,39 b	0,33 c	0,03 b

Os valores são médias das cinco coletadas realizadas (n=5). Médias seguidas de letras diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre as profundidades pelo teste de Tukey a 5%.

O Argissolo (vertente) apresentou uma textura média na superfície com 301 gkg^{-1} de argila, aumentando em profundidade até $497,63 \text{ gkg}^{-1}$ de argila, caracterizando uma textura média a argilosa. O Espodosolo (baixo) apresentou uma dinâmica diferente, contendo teor de argila entre 9 gkg^{-1} e 18 gkg^{-1} apresentando textura arenosa. A densidade do solo aumenta com a profundidade, oscilando de $1,05 \text{ gkg}^{-1}$ a $1,22 \text{ gkg}^{-1}$ no Latossolo, aumentando no Argissolo para valores entre $1,20 \text{ g kg}^{-1}$ e $1,42 \text{ g kg}^{-1}$ e no Espodosolo entre $1,45 \text{ g kg}^{-1}$ e $1,72 \text{ g kg}^{-1}$. O fracionamento dos poros demonstra Latossolos com alta porosidade ($>0,50 \text{ m}^{-3}\text{m}^{-3}$) com predomínio de microporos ($>0,40 \text{ m}^{-3}\text{m}^{-3}$) e macroporos entre 0,03 e $0,12 \text{ m}^{-3}\text{m}^{-3}$. A macroporosidade aumentou no Argissolos variando de $0,12 \text{ m}^{-3}\text{m}^{-3}$ a $0,22 \text{ m}^{-3}\text{m}^{-3}$. Os Espodosolos apresentaram um aumento acentuado na macroporosidade ($0,33 \text{ m}^{-3}\text{m}^{-3}$ a $0,39 \text{ m}^{-3}\text{m}^{-3}$), em função do aumento das partículas grossas de areia (Tabela 1).

Os teores de carbono decresceram com o aumento da profundidade em ambos os solos, sendo os maiores teores encontrados na superfície do solo, diferenciando entre as camadas (Tabela 1). O Latossolo (platô) apresentou teores de carbono entre 0,34% e 2,97%, o Argissolo (vertente) entre 0,21% e 2,31% e o Espodosolo (baixo) entre 0,52% a 4,37%, sendo próximos aos encontrados por Luizão et al. (2004). Na superfície, o Espodosolo apresentou teores de carbono superiores aos solos mais argilosos (Latossolo e Argissolo) (Tabela 1), contrastando com Luizão et al. (2004) que obtiveram 0,5% a 1,0% (5 cm) e 0,2 a 0,8 (10 cm), talvez, devido a

dinâmica das áreas de baixo, pois sofrem influência das flutuações do lençol freático e da ação das raízes finas na superfície do solo, disponibilizando o carbono em maiores concentrações nas camadas superficiais.

A Tabela 2 apresenta os estoques totais do carbono até 2,0 m de profundidade ao longo das camadas 0-40, 0-100 e 0-200 cm pertencentes ao transecto e área delimitada na Microbacia do Igarapé Asu (Reserva Biológica do Cueiras/ZF2). Apesar do carbono decrescer com a profundidade (Tabela 1), os estoques não seguiram essa tendência, em função do aumento da densidade do solo em profundidade e espessura dos horizontes dos solos. Entre os solos argilosos (Latossolo/platô e Argissolo/vertente), os maiores estoques de carbono foram observados sob Latossolo tanto a nível de transecto (90 a 175,5 Mg ha⁻¹de C) quanto a nível de área da microbacia (100,2 a 195,2. Mg ha⁻¹de C). Os estoques de carbono sob solos arenosos (Espodossolo/baixo) foram superiores aos solos argilosos ao longo do transecto (160 a 241 Mg ha⁻¹de C) e próximo a esses solos na área delimitada da Microbacia do Igarapé Asu (96.902 a 146.018 Mg ha⁻¹de C).

Tabela 2 - Valores médios dos estoques de carbono (Mg ha⁻¹de C) obtidos ao longo de 5 anos de amostragem.

Profundidade (cm)	Estoque de carbono (Transecto 850 m)	Estoque de carbono (Área: 2.678,68 ha)
Latossolo Amarelo distrófico textura muito argilosa - Platô		
0 – 40	90 Ac	100.210,8 Ac
0 – 100	136,5 Ab	151.838,4 Ab
0 – 200	175,5 Aa	195.236,7 Aa
Argissolo Vermelho distrófico textura argilosa - Vertente		
0 – 40	84 Ac	80.470,8 Bc
0 – 100	116 Bb	111.477,1 Bb
0 – 200	159 Ba	152.611,9 Ba
Espodossolo Cárbico Hidromórfico típico - Baixo		
0 – 25	160 Bb	96.902,3 Ab
0 – 120	241 Ca	146.018,0 Aa

A letra maiúscula compara as camadas entre as classes de solos, a minúscula compara as camadas entre si dentro da mesma classe de solo ($p < 0,05$; Tukey HSD).

Os resultados demonstram que os solos estudados sob Floresta Amazônica têm grande capacidade de estocar o carbono. Os maiores teores de carbono obtidos nas camadas superficiais são explicadas devido à superfície do solo sofrer maior interferência da matéria orgânica depositada pela floresta, principalmente, pela deposição de resíduo orgânico, promovendo processos mais intensos na ciclagem de nutrientes (VITAL et al., 2004), como é o caso dos solos dos baixo (Espodossolo) que recebem material orgânico das áreas mais altas (platô e vertente) e ação do lençol freático. Os solos situados no baixo (Espodossolo) podem emitir elevados teores de carbono para a atmosfera em curto espaço de tempo, pois a característica física desses solos (Tabela 1) é mais rapidamente alterada quando comparado com os solos mais argilosos: Latossolo (platô) e Argissolo (vertente).

Em solos sob floresta tropical, o carbono do solo parece ser mantido pela entrada de resíduos orgânicos via liteira e carbono orgânico dissolvido (COD). A queda e deposição de liteira

promovem o acúmulo de C e nutrientes para serem absorvidos pelas plantas e disponibilizados ao longo do perfil do solo através da lixiviação, sendo um fator importante no controle do estoque da qualidade da MOS (SHEPHERD et al., 2001).

Propriedades físicas de solos amazônicos como porcentagem do teor de argila, densidade do solo, quantidade de macroporos e microporos podem exercer uma proteção ao carbono contido no solo (MARQUES et al., 2010), pois possibilitam o movimento de material orgânico ao longo das camadas, acumulando carbono em profundidade que conjuntamente com o aumento gradativo da densidade e profundidade proporcionam aumentos nos estoques de carbono no solo (LUIZÃO et al., 2004). A reduzida macroporosidade e alta microporosidade em profundidade no platô (Latossolo) auxiliam na retenção do carbono no horizonte subsuperficial, permitindo sua maior estabilização. Por outro lado, os solos do baixo (Espodosolo) devido a maior porcentagem de areia são mais instáveis na manutenção do carbono no solo podendo liberar o carbono para atmosfera mais facilmente caso o solo seja perturbado.

O aumento do carbono estocado em profundidade comprova a importância de solos tropicais como sumidouro de carbono. Alguns estudos já relataram a tendência do carbono em profundidade, salientando que o carbono total armazenado abaixo de 1 m pode realmente ser mais elevado do que o estoque do carbono acima de 1m (NEPSTAD et al., 1994; TRUMBORE, et al., 1995). Nepstad et al. (1994) foram os primeiros a salientar a importância do carbono em profundidade no solo em solos de florestas tropicais, em estudos realizados no Pará, demonstraram que o solo da floresta abaixo da profundidade de 1 m em seu local conteve mais carbono do que a biomassa na superfície, atribuindo esse comportamento à espessura dos horizontes subsuperficiais e à atividade de raízes. A quantidade de carbono estocado nos horizontes subsuperficiais pode ser obtido devido ao baixo retorno da matéria orgânica do solo (MOS) nos horizontes subsuperficiais Bw quando comparado com os horizontes superficiais Ap (JONES et al., 2005; LORENZ e LAL, 2005), compreendida pela textura argilosa a muito argilosa em profundidade e distribuição dos poros.

Nos últimos anos, as pesquisas quanto à dinâmica e estoque de carbono no solo estão delimitadas a poucas áreas, em períodos esparsos no tempo, alguns sem delimitações de profundidades e com diferentes unidades de grandezas e sem amostragens precisas de densidade do solo. As estimativas do estoque de carbono em solos tropicais e na região Amazônica têm sido realizadas em diferentes locais, com resultados também muito variados. Uma comparação só seria possível a partir das mesmas unidades de massa e área o que é impedido pelas diferentes profundidades estudadas. Determinar os estoques de carbono no solo, bem como as variáveis que interferem são de extrema importância para determinar práticas de manejo que mantenham o carbono estocado no meio terrestre.

Os resultados encontrados neste estudo são próximos aos observados em alguns estudos para solos da Amazônia, (SOMMER et al., 2000), equivalentes aos de outros solos sob floresta em regiões tropicais (VELDKAMP et al., 2003), acima (SALIMON, 2007) e abaixo (POTTER et al., 1998) de outros trabalhos realizados em outras áreas da Amazônia. Revisão recente sobre estoque de carbono nos primeiros 0,5 e 1,0 m de profundidades estimam 55,7 e 95,7 t Cha⁻¹, respectivamente; destacando variações na ordem de 0,1 a 208,7 tCha⁻¹ a 0,5 m de profundidade e de 95,7 a 250,5 t Cha⁻¹ a 1 m de profundidade (IBGE, 2012), próximos aos apresentados no presente estudo.

Os resultados obtidos neste estudo confirmam os relatados de Fearnside (2006), prevendo que a retirada da floresta amazônica contribuiria para uma retroalimentação

significativa, intensificando o efeito estufa, tanto pela liberação de carbono da biomassa da floresta (HUNTINGFORD et al., 2004) como pela liberação de carbono do solo (JONES et al., 2005). Embora não existam muitas informações sobre o potencial de mudanças no solo em grandes profundidades (MUTUO et al., 2005), as classes de solos estudadas apresentam atributos físicos que podem contribuir positivamente para a proteção do carbono no solo.

CONCLUSÃO

O Latossolo apresenta os maiores teores de carbono até 2,0 de profundidade, seguido pelo Espodosolo e Argissolo.

Os solos sob floresta amazônica têm um grande potencial para estocar carbono, sendo influenciados pelas propriedades físicas do solo.

Os solos arenosos apresentam grande potencial de armazenamento temporário de carbono, que pode ser facilmente perdido para o ambiente em situações de exploração devido as características físicas do solo.

Os valores totais de estoques de carbono reforçam a precaução atual em reduzir as explorações de áreas de floresta tropical devido às possíveis emissões do carbono do solo para a atmosfera, principalmente, nas áreas de baixo (solos arenosos), devido a fragilidade física desses solos.

AGRADECIMENTO

Aos projetos LBA, PPG7, PELD e CNPQ pelo financiamento da pesquisa

REFERÊNCIAS

BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; CERRI, C.C.; BOURENNANE, H. Modelling vertical distribution of carbon in Oxisols of the Western Brazilian Amazon (Rondônia). **Soil Science**, v. 163, p. 941-951, 1998.

CHAUVEL, A.; VITAL, A.R.T.; LUCAS, Y.; DESJARDINS, T.; FRANKEN, W.; LUIZAO, F.J.; ARAGUÁS, L.; ROZANSKI, K.; BEDMAR, A.P. O papel das raízes no ciclo hidrológico da floresta Amazônica. In: **Anais do VII Congresso Brasileiro de Meteorologia**. São Paulo, p. 29-37, 1992.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v.75, p.529-538, 1995.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2.ed. rev. atual. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro. 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documentos; 1).

FEARNSIDE, P. M. Mitigation of climatic change in the Amazon. In: LAURANCE, W. F. & PERES, C. A. (Eds.) **Emerging Threats to Tropical Forests**. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, U.S.A, p. 353-375, 2006.

FEARNSIDE, P. M. Estoque e estabilidade do carbono nos solos na Amazônia brasileira. In: TEIXEIRA, W. G.; MADARI, B. E.; BENITES, V. M.; KERN, D. C.; FALCÃO, N. P. S. (Eds.). **As Terras**

Pretas de Índio: Caracterização e manejo para formação de novas áreas. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Amazônia Ocidental, Belém, Pará, p. 259-262, 2009.

GONÇALVES, J.L.M.; MELLO, S.L.M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇAVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (ed). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF/FAPESP, p. 219-267, 2000.

HUNTINGFORD, C.; HARRIS, P.O.; GEDNEY, N.; COX, P.M.; BETTS, R.A.; MARENGO, J.A.; GASH, J.H.C. Using a GCM analogue model to investigate the potential for Amazonian forest dieback. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, p. 177-185, 2004.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Maior estoque de carbono da região da Amazônia Legal está no solo**. 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 27 jul. 2012.

IPCC. **Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. WMO/UNEP, 2007. 18p, 2007.

JONES, C.C.; MCCONNELL, K.; COLEMAN, P.; COX, P.; FALON, P.; JENKINSON, D.; POWLSON, D. Global climate change and soil carbon stocks; predictions from two contrasting models for the turnover of carbon in soils. **Global Change Biology**, v. 11, p. 114-166, 2005.

LORENZ, K.; LAL, R. The depth distribution of soil organic carbon in relation to land use and management and the potential of carbon sequestration in subsoil horizons. **Advanced Agronomy**, v. 88, p.35-66, 2005.

LUIZÃO, R.C.C.; LUIZÃO, F.J.; PAIVA, R.Q.; MONTEIRO, T.F.; SOUZA, L.S.; KRUIJT, B. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. **Global Change Biology**, v. 22, p. 592-600, 2004.

MARLAND, G. R.; J. ANDRÉS, T. A.; BODEN, C.; BRENKERT, A. **Global, regional and national annual CO₂ emissions estimates from fossil fuel burning, cement production and gas flaring**. 1751-1998 (revised in august, 2003), Rep. ORNL/CDIAC/ NDP-030, Oak Ridge Natl. Lab., Oak Ridge, Tenn., 2008. Disponível: <<http://cdiac.esd.ornl.gov/ndps/ndp030.html>>. Acesso: 20 set. 2008.

MARQUES, J.D.O.; TEIXEIRA, W.G.; REIS, A.M.; CRUZ-JUNIOR, O.F.; MARTINS, G.C. Avaliação da condutividade hidráulica do solo saturada utilizando dois métodos de laboratório numa topossequência com diferentes coberturas vegetais no Baixo Amazonas. **Acta Amazônica**, v. 38, p. 193-206, 2008.

MARQUES, J.D.O.; TEIXEIRA, W.G.; REIS, A.M.; JUNIOR, O.F.C.; BATISTA, S.M.; AFONSO, M.A.C.B. Atributos químicos, físico-hídricos e mineralogia da fração argila em solos do Baixo Amazonas: Serra de Parintins. **Acta Amazônica**, v. 40, p.1-12, 2010.

MUTUO, P.K.; CADISCH, G.; ALBRECHT, A.; PALM, C.A.; VERCHOT, L. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 71, p. 43-54, 2005.

NEPSTAD, D.C.; CARVALHO, C.R.; DAVIDSON, E.A.; JIPP, P.H.; LEFEBVRE, G.H.; NEGREIROS, E.D.; SILVA, T.A.; STONE, S.E.; TRUMBORE, S.E.; VIEIRA, S. The role of deep roots in the hydrological cycles of Amazonian forests and pastures. **Nature**, v. 372, p.666-669, 1994.

POTTER, C.S.; DAVIDSON, E.A.; KLOOSTER, S.A.; NEPSTAD, D.C.; NEGREIROS, G.H.; BROOKS, V. Regional application of an ecosystem production model for studies of biogeochemistry in Brazilian Amazonia. **Global Change Biology**, v. 4, p. 315-333, 1998.

SALIMON, C.I.; WADI, P.G.S.; MELO, A.W.F. Dinâmica do carbono na conversão de floresta para pastagens em argissolos da formação geológica solimões, no sudoeste da Amazônia. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, p. 29-38, 2007.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 5.ed. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2005. 100 p.

SHEPHERD, T.G.; SAGGAR, S.; NEWMAN, R.H.; ROSS, C.W.; DANDO, J.L. Tillage-induced changes to soil structure and organic carbon fractions in New Zealand soils. **Australian Journal Soil Research**, v. 39, p. 465-489, 2001.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHAN, R.; ALBES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODEY, R.M.. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.76, p.39-58, 2004.

SOMMER, R.; DENICH, M.; VLEK, P.L.G. Carbon storage and root penetration in deep soils under small-farmer land-use systems in the Eastern Amazon region, Brazil. **Plant and Soil**, v. 219, p. 231-241, 2000.

TRUMBORE, S.E.; DAVIDSON, E.A.; CAMARGO, P.B. DE.; NEPSTAD, D.C.; MARTINELLI, L.A. Belowground cycling of carbon in forests and pastures of Eastern Amazônia. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 9, p. 515-528, 1995.

VELDKAMP, E.; BECKER, A.; SCHWENDENMANN, L.; CLARK, D.A.; BISPING, H.S. Substantial labile carbon stocks and microbial activity in deeply weathered soils below a tropical wet forest. **Global Change Biology**, v. 9, p.1171-1184, 2003.

VITAL, A.R.T.; GUERRINI, I.A.; FRANKEN, W.K.; FONSECA, R.C.B. Produção de serrapilheira e ciclagem de uma floresta estacional semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, v. 28, p. 793-800, 2004.