

Dinâmica do Carbono na Conversão de Floresta para Pastagens em Argissolos da Formação Geológica Solimões, no Sudoeste da Amazônia.

Cleber Ibraim Salimonⁱ, Paulo Guilherme Salvador Wadtⁱⁱ, Antonio Willian Flores de Meloⁱⁱⁱ

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica, o estoque e a razão isotópica do carbono nos três tipos de uso da terra do sudoeste da Amazônia, onde predominam Argissolos com argilas de alta atividade. Foram selecionados dois locais da região leste do Estado do Acre e, em cada local, abriram-se trincheiras nas quais foram coletadas amostras indeformadas nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 20 a 25 e 50 a 55cm, sob cobertura de floresta primária, floresta secundária e pastagens. Nas amostras, determinou-se a densidade aparente, teor de carbono e a razão isotópica do carbono, além de características físicas (granulometria) e químicas (pH, teores de cátions trocáveis, acidez potencial). Os resultados mostraram que o uso do solo com pastagens foi responsável pela maior densidade aparente do solo, decorrente da compactação provocada pelo pisoteio do gado. Sob pastagens, os solos apresentaram ainda maiores estoques de carbono nas camadas superficiais, sendo que os resultados da diluição isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ indicaram que em torno de 40 a 50% deste carbono foi originado das próprias gramíneas, nas profundidades de 0 a 5 cm.

Palavras-chave: Argissolos, uso da terra, mudanças climáticas globais.

Carbon dynamics of the pasture-forest conversion in Ultisols from Solimões Geologic Formation, in Southwestern Amazon

ABSTRACT

In this paper we address soil carbon stocks, dynamics and its isotope ratios for the three land cover types in Southwestern Amazônia, Brazil, where Ultisols with high aluminum and high activity clays' content dominate the landscape. Two sites were selected in eastern Acre State and at each site trenches were open for intact soil core sampling at 0 to 5, 5 to 10, 20 to 25 e 50 to 55cm depth, under mature forest, secondary forests and pastures. From each samples we determined soil bulk density, carbon content, $\delta^{13}\text{C}$, granulometry, and chemical properties (such as cation exchange capacity and potential acidity). Results show that land cover change from forests to pasture increased soil bulk density, due to cattle compaction of soil. Higher carbon content was found in pastures in surface layers of soil and isotopic dilution calculation of $\delta^{13}\text{C}$ show that from 40 to 50% of carbon in soil pastures are C4 derived from 0 to 5 cm depth.

Keywords: Ultisols, land use, global climate change.

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia destaca-se pela sua importância em termos de ciclos regionais e globais de carbono e outros elementos (DAVIDSON & ARTAXO NETO, 2004) e sua imensa biodiversidade (SILVEIRA *et al.*, 1997).

Os estoques de carbono na biomassa das florestas amazônicas (HOUGHTON *et al.* 2001) e nos solos (BATJES & DIJKSHOORN, 1999) têm sido amplamente estudados, embora as variações e incertezas dos valores para ambos os reservatórios sejam grandes – de 150 Mg ha⁻¹ a 425 Mg ha⁻¹ (BROWN *et al.*, 1995; KELLER *et al.*, 2001) para biomassa aérea; e no solo de 73 a 98 Mg ha⁻¹, de 0 a 100 cm de profundidade (BERNOUX, 1998; BATJES & DIJKSHOORN, 1999).

Existem incertezas nestas estimativas, devido à variações na densidade dos solo, na escala das bases de dados, dos métodos de cálculo e da variabilidade espacial e temporal dos teores de carbono (BERNOUX, 1998). Outras estimativas são feitas considerando-se poucas ordens de solos, amostradas em determinadas regiões e extrapolando-se os resultados para todo o bioma (DEMATTE, 2000).

De acordo com o material de origem, os solos da Amazônia brasileira dividem-se em quatro grandes feições (SOMBROEK, 1984). A porção leste da bacia Amazônica é composta por sedimentos caulíníticos do terciário, da Formação Barreiras, originária principalmente de materiais cristalinos ao norte e ao sul desta região. Nos extremos norte e sul da região, os solos são mais diversos, pertencendo a diversas ordens de solos.

A porção oeste da bacia, denominada de Formação Solimões destaca-se em relação às demais regiões, pelo fato dos solos terem sido formados a partir de sedimentos terciários marinhos e sedimentos quarternários fluviais e de deposição de cinzas vulcânicas (GAMA, 1986; LATRUBESSE *et al.*, 1997; LIMA *et al.*, 2006).

Na Formação Solimões, coexistem solos poucos intemperizados (Vertissolos, Cambissolos, Luvissolos) com solos de maior grau de desenvolvimento (Argissolos, Plintossolos), sendo característico nos solos

destes ambientes a associação de baixo pH, alta atividade de argila, teores de médio a alto de cálcio e magnésio trocáveis e altos teores de alumínio trocável (LIMA *et al.*, 2006; VOLKOFF *et al.*, 1989; SILVA, 1999).

Mesmo a Formação Solimões sendo de grande expressão territorial por constituir-se na principal formação geológica do sudoeste da Amazônia (sul do rio Solimões e oeste do rio Madeira), os estudos de estoque de carbono na Amazônia tem priorizado outras formações regiões onde predominam os Argissolos com argilas de baixa atividade e Latossolos (BENITES *et al.*, 2007). Neste sentido, faltam caracterizações detalhadas do estoque de carbono em diferentes tipos de cobertura de solos da formação Solimões.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica, o estoque e a razão isotópica do carbono nos três principais tipos de uso da terra do sudoeste da Amazônia, onde predominam Argissolos com predomínio de argilas de alta atividade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionados três tipos de usos da terra (floresta primária, floresta secundária e pastagem plantada), em dois locais da região leste do Estado do Acre: Projeto de Assentamento Dirigido Peixoto e Projeto de Assentamento Dirigido Humaitá, referidos doravante como Peixoto e Humaitá (Tabela 1).

O clima regional foi classificado como Am (Köpen), caracterizado por temperatura média anual de 26° C; pluviosidade média anual de 1940 (±228) mm entre 1970 e 2000, e com estação seca bem definida (com menos de 60 dias consecutivos sem chuva) entre os meses de maio e outubro (DUARTE *et al.*, 2000). A umidade relativa do ar foi sempre acima de 75 % no período citado.

Nos locais de ocorrência, os solos foram classificados como ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Alítico (solos sob uso de floresta secundária no Peixoto e no Humaitá e sob uso de pastagem no Humaitá) e ARGISSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (solos sob uso de pastagem no Peixoto e floresta primária no Peixoto e Humaitá) (BRASIL, 1976; EMBRAPA, 2006).

Em cada unidade de uso (Tabela 1), entre dezembro de 2000 e janeiro de 2001 foram abertas três trincheiras de dimensões de 60 X 60

X 60 cm, e em cada trincheira foram coletadas três amostras nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 20 a 25 e 50 a 55cm.

Tabela 1 - Unidades de uso da terra em relação a sua situação no momento da coleta das amostras de solos (janeiro 2001).

Local de coleta	Latitude - Longitude		Uso atual	Uso anterior	
	Sul	Oeste			
Peixoto	P13	9°52'27.6''S	67°4'19.2''W	Pastagem com cerca de 13 anos com eventuais queimadas	Floresta intacta
	C11	9°52'32.5''S	67°4'17.7''W	Floresta secundária com cerca de 11 anos	Pastagem
	C3A	9°52'30.1''S	67°4'26.9''W	Floresta secundária com cerca de três anos	Cultivo de mandioca em baixo nível tecnológico – sem uso de fertilizantes
	FA	9° 52'36.7''S	67°4'37.9''W	Reserva legal	Floresta primária
Humaitá	P14	9°46'12.8''S	67°39'28.7''W	Pastagem com cerca de 14 anos	Floresta primária
	C3B	9°46'14.9''S	67°39'27.9''W	Floresta secundária com cerca de três anos	Cultivo de arroz e feijão em baixo nível tecnológico – sem uso de fertilizantes
	FB	9°46'13.5''S	67°39'29.1''W	Reserva legal	Floresta primária

As siglas dos locais de coleta correspondem a cobertura, onde P – pastagem, C – florestas secundárias e F – florestas primárias; os números indicam a idade das pastagens e das florestas secundárias

A densidade aparente do solo foi determinada por meio de quatro amostras indeformadas, a quais foram coletadas com anéis volumétricos de 8,25 cm de diâmetro por 6 cm de altura em cada uma das profundidades estipuladas acima (BLAKE E HARTGE, 1986).

As amostras foram secas a 55-65°C e pesadas para a determinação da massa de solo em cada anel volumétrico. As demais amostras foram destorroadas e preparadas em terra fina seca ao ar para as análises físicas e químicas, que foram realizadas no Laboratório de Solos da Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz – ESALQ/USP.

As determinações de pH foram feitas na razão solo:solução de 1:2,5, em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alumínio foram extraídos em em resina trocadora de cátions e ânions e a acidez potencial foi determinada por meio de solução tampão SMP (RAIJ *et al.*, 2001). A granulometria, a determinação do teor de argila e o cálculo da saturação de bases foram feitos conforme EMBRAPA (1999).

Nas amostras, foram ainda determinadas o teor de carbono e do carbono $\delta^{13}\text{C}$. O teor de carbono nas amostras de solo foi determinado por um analisador elementar Carlo Erba 1110 CNHS e o $\delta^{13}\text{C}$ em um espectrômetro de massa por razão isotópica Delta Finnegan Plus, realizando-se 12, 6, 3 e 3 replicadas para as profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 0 a 30 e 50 a 60 cm, respectivamente.

O estoque de carbono foi calculado a partir dos valores de teor de carbono e densidade aparente do solo (incluindo os desvios padrão de ambos), conforme BERNOUX (1998).

A diluição isotópica foi calculada conforme equação a seguir, como o objetivo de identificar a porcentagem de carbono de origem da pastagem e aquele remanescente da floresta.

$$\%C_4 = \frac{\delta^{13}\text{C}_{\text{amostra}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{referência}}}{\delta^{13}\text{C}_A - \delta^{13}\text{C}_{\text{referência}}} * 100$$

onde: CA é o valor de $\delta^{13}\text{C}$ da planta C4 e referência é $\delta^{13}\text{C}$ de plantas C3.

O modelo de mistura isotópica assumiu que a entrada de carbono nas pastagens foi somente de plantas C4, desconsiderando a contribuição de gramíneas nativas e arbustos invasores que alocam carbono C3 no solo das pastagens. Isto foi possível porque plantas C3 foram raras nas pastagens estudadas e as gramíneas nativas são mais adaptadas às condições de borda ou de interior da floresta.

As médias foram comparadas por meio de estatística não paramétrica (teste de Kruskal-Wallis) quando a variável dependente não apresentou distribuição normal e pelo teste de

Tukey HSD quando a variável dependente foi normal.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos apresentaram-se ácidos (pH em CaCl₂ variando de 3,2 e 5,4), enquanto que o teor de cátions trocáveis variou entre os locais amostrados, sendo maior em Humaitá nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, principalmente devido à maior contribuição do Mg trocável no complexo sortivo dos solos de Humaitá, não havendo diferenças entre as demais profundidades (Tabela 2).

Tabela 2 - pH em CaCl₂, porcentagem de saturação de bases (V%), fósforo disponível (P), teor de matéria orgânica (MO), potássio, cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, acidez potencial, soma de bases e capacidade de troca de cátions (K, Ca, Mg, Al, H+Al, SB e CTC, respectivamente) e saturação de alumínio (m) do solo, nos locais e profundidades amostrados (prof).

Local	Prof. cm	pH	V% %	P mg dm ⁻³	MO dag kg ⁻¹	mmol ₍₊₎ dm ⁻³						m %	
						K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB		CTC
C11	0-5	3,9	27	14	45	3,4	29	12	13	147	44,4	191,7	23
C11	05-10	3,2	10	11	25	3,5	12	6	31	221	21,5	242,2	57
C11	20-30	3,2	2	5	17	2,4	1	2	52	303	5,4	308,4	91
C11	50-60	3,3	1	3	12	1,7	1	1	54	325	3,7	328,7	94
C3a	0-5	5,5	74	30	61	3,8	95	13	0	40	111,3	151,3	0
C3a	05-10	4,8	58	13	31	3,3	54	17	2	53	74,0	126,7	2
C3a	20-30	3,5	9	4	15	3,1	10	9	38	229	22,1	250,8	64
C3a	50-60	3,3	3	3	11	3,6	4	10	90	512	17,3	528,9	84
C3b	0-5	3,9	23	19	37	2,8	17	11	10	95	31,2	125,8	34
C3b	05-10	3,6	10	8	21	2,4	3	5	16	89	10,4	99,1	62
C3b	20-30	3,3	4	4	12	1,7	1	4	31	160	7,0	167,0	81
C3b	50-60	3,3	2	3	10	2,5	1	5	62	392	8,5	400,5	88
Fa	0-5	3,6	23	10	36	2,9	20	11	12	118	34,6	152,6	27
Fa	05-10	3,2	8	8	23	1,8	6	4	20	141	11,5	152,2	63
Fa	20-30	3,2	3	4	16	1,2	2	1	25	140	4,8	144,8	84
Fa	50-60	3,3	2	3	13	0,9	2	1	22	140	3,5	143,5	87
Fb	0-5	4,1	34	14	74	6,5	35	15	6	110	56,2	166,2	12
Fb	05-10	3,5	14	10	24	4,1	12	6	20	153	21,6	174,6	49
Fb	20-30	3,4	7	6	20	3,4	5	4	27	168	11,9	179,4	70
Fb	50-60	3,4	2	4	14	1,3	2	1	31	186	3,8	189,3	90
P13	0-5	3,2	6	14	39	3,8	3	6	29	213	12,4	225,1	71
P13	05-10	3,3	3	8	25	2,1	1	2	32	192	5,4	197,4	86
P13	20-30	3,3	2	4	16	1,6	1	1	33	192	3,6	195,3	90
P13	50-60	3,4	2	3	12	1,4	1	1	29	213	3,4	216,1	90
P14	0-5	4,6	47	16	41	8,2	35	17	3	69	59,9	129,2	5
P14	05-10	4,0	29	8	21	4,0	17	10	10	80	30,5	110,0	26
P14	20-30	3,7	18	4	16	4,0	14	9	36	240	27,0	267,3	51
P14	50-60	3,4	3	4	13	4,6	3	8	107	515	15,9	531,2	87

O teor de P disponível variou de 3 e 29 mg dm⁻³, sendo que os maiores valores foram observados nos solos de Humaitá e nas camadas superficiais (29, 19 e 16 mg dm⁻³ para C3B, FB e P14, respectivamente) (p<0.05; teste de Kruskal-Wallis). Nos demais locais e profundidades (5 a 10, 20 a 30 e 50 a 60cm), não se observou diferenças significativas entre os valores observados (Tabela 2).

Os argissolos estudados foram argilosos ou muito argilosos (30 a 80%), com uma elevada proporção de silte (14 a 46%), elevados teores de alumínio trocável (> 20 mmol₍₊₎dm⁻³ e dessaturados (V% < 50%), conforme tipicamente encontrados em solos com horizontes B-textural da Formação Solimões (GAMA, 1986; SILVA, 1999, LIMA *et al.*, 2006).

Os solos do Peixoto foram mais argilosos que aqueles do Humaitá (p<0.05; teste Kruskal-Wallis), sendo que em relação ao teor de silte, observou-se um padrão inverso (Tabela 3). O maior teor de silte nestes solos está associado à juvenildade destes solos (GAMA, 1986), sendo explicado pelas contribuições geológicas recentes de materiais oriundos da erosão durante a formação da cordilheira andina (GAMA *et al.*, 1992; LIMA *et al.*, 2006), estando este maior teor de silte associado à presença de argilas de alta atividade (MÖLLER & KITAGAMA, 1982; MÖLLER *et al.*, 1982; RIBEIRO *et al.*, 1997), o que torna estes solos férteis, apesar da elevada acidez ativa e trocável (GAMA & KIEHL, 1999; WADT, 2002).

Tabela 3 - Análise granulométrica (teor de areia, silte e argila), e teor, estoque e δ13C do carbono do solo nos locais e profundidades amostrados (prof).

Local	Prof cm	Areia	Silte	Argila	Teor C	Estoque C Mg C ha ⁻¹	δ13C ‰	%C ₄ %
C11	0-5	15± 3	34± 4	51± 2	2,7± 0,5	14± 2.4	-28,3± 0,39	---
C11	05-10	9± 2	33± 3	58± 3	1,3± 0,1	22± 0.9	-27,3± 0,11	---
C11	20-30	9± 2	29± 1	62± 1	0,9± 0,1	35± 0.7	-26,3± 0,30	---
C11	50-60	8± 3	26± 3	66± 5	0,5± 0,1	44± 0.9	-25,4± 0,49	---
C3a	0-5	31± 2	23± 3	46± 2	2,1± 0,4	10± 2.9	-27,2± 0,97	---
C3a	05-10	26± 2	21± 2	53± 4	1,3± 0,1	18± 0.6	-26,2± 0,65	---
C3a	20-30	22± 2	17± 3	62± 5	0,8± 0,1	30± 0.6	-25,5± 0,16	---
C3a	50-60	19± 3	16± 1	66± 4	0,6± 0,1	38± 0.7	-25,1± 0,34	---
C3b	0-5	15± 6	42± 3	43± 3	2,9± 0,8	14± 4.8	-28,2± 0,37	---
C3b	05-10	13± 5	46± 2	41± 4	1,3± 0,4	22± 1.9	-27,1± 0,52	---
C3b	20-30	11± 2	38± 1	50± 2	0,7± 0,1	33± 0.5	-25,8± 0,14	---
C3b	50-60	4± 5	30± 3	67± 5	0,5± 0,1	41± 0.7	-24,0± 0,46	---
Fa	0-5	18± 5	39± 2	43± 4	2,6± 0,6	14± 3.7	-28,2± 0,23	---
Fa	05-10	16± 2	38± 1	46± 3	1,2± 0,3	23± 1.8	-26,7± 1,07	---
Fa	20-30	14± 4	34± 1	52± 5	0,8± 0,0	36± 0.4	-25,6± 0,20	---
Fa	50-60	8± 2	27± 2	65± 2	0,6± 0,1	45± 0.6	-24,6± 0,10	---
Fb	0-5	25± 3	44± 1	32± 4	2,1± 0,9	11± 4.6	-27,6± 0,51	---
Fb	05-10	25± 2	43± 1	32± 3	1,1± 0,7	18± 3.7	-26,5± 0,32	---
Fb	20-30	20± 1	40± 5	40± 5	0,5± 0,1	27± 0.5	-25,7± 0,26	---
Fb	50-60	12± 1	29± 5	59± 6	0,4± 0,0	33± 0.4	-24,5± 0,45	---
P13	0-5	19± 1	23± 4	58± 3	4,5± 1,1	26± 5.6	-21,4± 0,85	41,9
P13	05-10	10± 1	20± 3	70± 2	1,7± 0,1	36± 0.7	-24,2± 0,42	16,8
P13	20-30	7± 1	19± 2	75± 1	1,3± 0,1	52± 0.4	-24,4± 0,20	8,8
P13	50-60	7± 5	14± 4	80± 3	0,8± 0,0	64± 0.3	-24,0± 0,40	4,9
P14	0-5	14± 2	42± 4	44± 3	2,8± 0,4	17± 2.2	-19,4± 1,03	52,8
P14	05-10	10± 1	46± 0	45± 1	1,5± 0,5	28± 2.9	-22,2± 0,67	22,0
P14	20-30	10± 7	36± 1	54± 8	0,8± 0,1	41± 0.5	-22,4± 0,92	23,9
P14	50-60	4± 4	26± 3	71± 4	0,6± 0,1	50± 0.4	-23,1± 0,49	11,7

%C₄ representa quantidade de carbono do solo que é originada de plantas C4 somente para pastagens. Estoque de C refere-se ao total de carbono acumulado de 0 até a profundidade apresentada na respectiva linha da coluna.

Com relação as diferentes tipos de uso do solo, os solos das pastagens foram mais argilosos que os das florestas secundárias e

primárias no Peixoto, enquanto que em Humaitá as pastagens e florestas secundárias apresentaram o mesmo teor de argila e ambos

foram mais argilosos que nas florestas primárias ($p < 0.05$; teste Tukey HSD).

O fato das pastagens estarem em solos mais argilosos pode estar relacionado à perda das camadas superficiais (0 a 5cm) que são menos argilas que as sub-superficiais (5 a 10cm) nos solos com horizonte B-textural (SALIMON, 2003), sugerindo que nas pastagens os processos erosivos estejam sendo mais intensos que nos solos sob cobertura florestal.

A densidade média do solo das florestas primárias aumentou, da superfície (0 a 5 cm) para a profundidade (50 a 60 cm), de 1,0 para 1,3 g cm⁻³ nas florestas secundárias, de 1,1 a 1,4 g cm⁻³ nas florestas primárias e de 1,2 a 1,3 g cm⁻³ nas pastagens. Para as áreas sob florestas, as densidades encontradas foram menores que aquelas observadas para solos sob florestas em Rondônia, onde os valores obtidos chegaram a 1,3 em superfície e 1,5 g cm⁻³ entre 20 e 30 cm de profundidade (MORAES, 1996). Por outro lado, os resultados das áreas sob pastagens foram similares.

Em Latossolos da Amazônia Oriental, os valores para a densidade foram maiores nas camadas superficiais de solos sob pastagens e similares em solos sob floresta (CAMARGO, 1997). A maior densidade do solo encontrada neste trabalho e por CAMARGO (1997) pode ser explicada pelo pisoteio do gado e pela maior erosão superficial em pastagens, resultando na perda dos primeiros centímetros de solo.

Por outro lado, as variações observadas na densidade do solo de algumas unidades de uso da terra (C3A, C3B, FA e P14) entre as camadas de 20-30 cm, foram atribuídas ao efeito da existência de concreções de ferro entre 20 e 40cm de profundidade nestes locais. Como a densidade média destas concreções é de 2,4g cm⁻³ (SINGH e GILKES, 1996), sua presença contribui para a maior densidade aparente do solo nestas profundidades.

Os solos sob pastagens apresentaram os maiores estoques de carbono (Tabela 3), devido as maiores densidades e teores de carbono em todas as profundidades amostradas. Porém, os valores diferiram apenas na profundidade de 0 a 5cm ($p < 0,05$; teste de Tukey HSD).

Este aumento do estoque superficial de carbono em pastagens foi encontrado em outras localidades em pastagens com mais de cinco

anos no sudoeste da Amazônia (FEIGL, 1994; MORAES *et al.*, 1996), provavelmente pela maior alocação da produtividade primária bruta nas camadas superficiais dos solos em áreas com *Brachiaria spp* (TRUMBORE *et al.*, 1995; MORAES *et al.* 1996). Outras possibilidades são: (1) inclusão de raízes muito finas no processo de análise do solo; e (2) aumento de carbono recalcitrante na forma de micro-carvões nas pastagens, devido a queimadas, ficando este carbono inacessível para os microorganismos do solo responsáveis pela oxidação do carbono.

Embora haja algum acúmulo de carbono nas camadas superficiais do solo em pastagens (FERNANDES *et al.*, 2002; MORAES *et al.*, 1995), a quantidade de carbono emitido na queimada em uma pastagem ao longo dos anos chega a ser equivalente a 12% da biomassa aérea total da floresta pré-existente (KAUFFMAN *et al.*, 1998). Aliado a isto deve-se considerar que a implantação das pastagens na Amazônia são realizadas a partir da conversão de áreas com cobertura florestal nativa, implicando em uma emissão líquida de carbono para a atmosfera. Deve-se ainda considerar a morte e decomposição de raízes profundas, cuja maior contribuição seria de raízes de espécies florestais. Devido a tudo isto, a conversão de áreas florestais em pastagens representam uma fonte líquida de carbono para atmosfera (KAUFFMAN *et al.*, 1998) e não um sumidouro.

Dentro da classe de cobertura pastagens na profundidade de 0 a 5cm foi observada uma diferença no estoque de carbono entre os solos de Peixoto (mais argiloso) e Humaitá (menos argiloso), o que concorda com resultados que indicam haver uma correção estreita entre o teor de carbono no solo e seu teor de argila (BERNOUX, 1998; TELLES *et al.*, 2003).

A análise isotópica do carbono ($\delta^{13}C$) sugerem claramente a influência da substituição da floresta original, composta por plantas C3, por pastagens dominadas por *Brachiaria brizantha*, uma gramínea C4.

Os valores de $\delta^{13}C$ nos solos superficiais das pastagens foram maiores que nos solos das florestas secundárias e intactas ($p < 0.05$, teste de TUKEY HSD) (Tabela 3), concordante a incorporação da matéria orgânica proveniente das pastagens nas camadas superficiais de solo demonstrada por

CAMARGO *et al.* (1999). Ainda, SALIMON *et al.* (2004) ao estudarem o $\delta^{13}\text{C}$ do CO_2 respirado nestas pastagens, observaram que mais de 80% do carbono respirado foi de origem de plantas C4, indicando uma rápida ciclagem do carbono recente nestas pastagens.

Importante destacar que mesmo nestas camadas superficiais, o $\delta^{13}\text{C}$ dos solos sob pastagens esteve entre os valores de plantas C4 e C3, indicando que existe uma quantidade razoável de carbono remanescente da floresta. A mesma tendência foi encontrada por MORAES *et al.* (1996) trabalhando em pastagens com idade entre 9 e 13 anos, em Rondônia.

A partir de 50cm de profundidade, as diferenças de $\delta^{13}\text{C}$ entre pastagens e florestas secundárias e intactas não foram mais estatisticamente significativas ($p < 0.05$, teste de TUKEY HSD). Este padrão de empobrecimento de ^{13}C da superfície até cerca de um metro foi reportado por vários autores (MORAES, 1995; CAMARGO, 1997; TRUMBORE *et al.*, 1995) e explica-se pela maior meia vida da matéria orgânica (fração refratária) do solo em profundidade (GOUVEIA & PESSEDA, 1999). Porém, a partir de um metro de profundidade no solo, o carbono volta a ser enriquecido de ^{13}C , mesmo em florestas, não mais devido ao tipo de vegetação, mas sim a processos de fracionamento ao longo do perfil do solo (CAMARGO, 1997; TRUMBORE *et al.*, 1995).

A diluição isotópica indicou que nas duas pastagens analisadas (P13 e P14), a porcentagem de C originado das gramíneas C4 está em torno de 50% na superfície e decresce em profundidade, chegando a 5 e 12%, respectivamente (Figura 1).

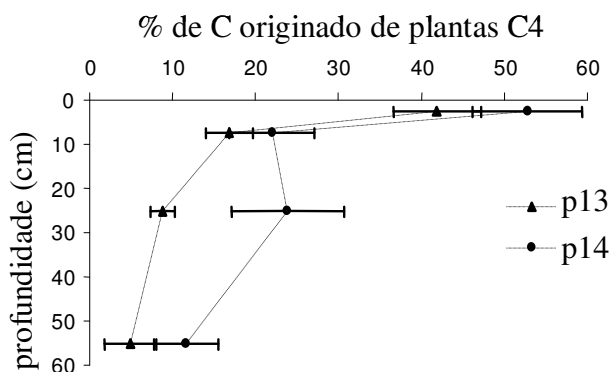


Figura 1. Porcentagem de C originado da pastagem através de cálculo de diluição isotópica nas pastagens P13 e P14.

A diferença na diluição isotópica observada entre as pastagens pode ser explicada pela influência do teor de argila. A pastagem com menor proporção de carbono de origem C4 em profundidade foi aquela com maior teor de argila, provavelmente devido à maior estabilidade dos complexos argilo-húmicos (STEVENSON, 1984), corroborado neste trabalho pela regressão significativa ($p < 0.001$) entre o teor de argila e o $\delta^{13}\text{C}$ do solo.

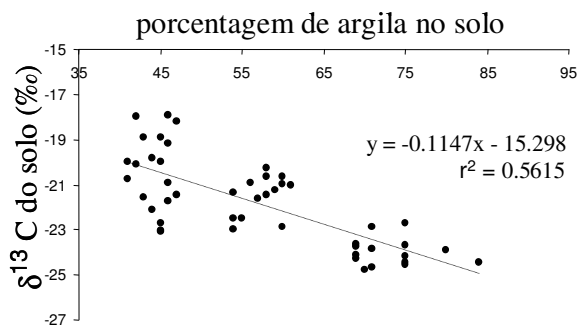


Figura 2. Relação entre porcentagem de argila no solo e $\delta^{13}\text{C}$. Note que quanto maior o teor de argila no solo, maior a porcentagem de C remanescente da floresta (valores mais negativos de $\delta^{13}\text{C}$).

Quanto menor o teor de argila espera-se que haja uma maior substituição do carbono da floresta pelo da pastagem pois há menor complexação da matéria orgânica do solo aos minerais do solo (TELLES, 2002).

4 CONCLUSÕES

Os solos sob pastagem apresentaram maiores estoques de carbono nas camadas superficiais, onde aproximadamente de 40 a 50% deste carbono foi originado das próprias gramíneas nas profundidades de 0 a 5 cm.

Em profundidade, a contribuição do carbono remanescente da floresta primária foi maior, notadamente naqueles solos com maior teor de argila.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, pelo apoio laboratorial para as realizações das análises de solos e de carbono. A FAPESP pelo financiamento, processo 99/03315-3 e NASA LBA-ECO processos NCC5-332 e NCC5-686.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATJES, N.H.; DIJKSHOORN, J.A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. *Geoderma*, v.89, p.273-286, 1999.
- BENITES, V.M.; MACHADO, P. L. O.A.; FIDALGO, E.C.C.; COELHO, M.R.; MADARI, B.E. Pedotransfer functions for estimating soil bulk density from existing soil survey reports in Brazil. *Geoderma*, 2007 (doi:10.1016/j.geoderma.2007.01.05).
- BERNOUX, M.M.Y. Conteúdo de carbono dos solos da Amazônia Ocidental e mudanças decorrentes da conversão da floresta em pastagens. Piracicaba, 1998. 98p. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- BLAKE, G.R. ; HARTGE, K.H. Bulk density. In: Klute, A (Ed.) *Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison: ASA, 1986. p.363-376.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL: Folha SC.19 Rio Branco. Rio de Janeiro, 1976.
- BROWN, I.F.; MARTINELLI, L.A.; THOMAS, W.W.; MOREIRA, M.Z.; FERREIRA, C.A.C.; VICTORIA, R.L. Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: an example from Rondônia, Brasil. *Forest Ecology and Management*, v.75, p.175-189, 1995.
- CAMARGO, P.B.; 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, p.693-702, 1999.
- DAVIDSON, E.A.; ARTAXO NETO, P. Globally significant changes in biological processes of the Amazon Basin: results of the Large-scale Biosphere-Atmosphere Experiment. *Global Change Biology*, v.10, p.519-529, 2004.
- DEMATTÊ, J.L.I. Solos. In: SALATI, E.; ABSY, M.L.; VICTORIA, R.L. (Ed.). *Amazônia: um ecossistema em transformação*. Manaus: INPA, 2000. cap. 6, p. 119-162.
- DUARTE, A.F.; ARTAXO NETO, P.; BROWN, I.F.; QUINTELA, T.S.; CHAIM, A.C. O clima em Rio Branco – Acre Brasil entre os anos 1970 e 2000. Rio Branco: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2000. (Relatório Técnico).
- EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solos*. 2a. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- FEIGL, B.J. Dinâmica da matéria orgânica do solo na sucessão floresta/pastagem na Amazônia (Rondônia). Piracicaba, 1994. 68p. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.
- FERNANDES, S.A.P.; BERNOUX, M.; CERRI, C.C.; FEIGL, B.J.; PICCOLO, M.C. Seasonal variation of soil chemical properties and CO₂ and CH₄ fluxes in unfertilized and P-fertilized pastures in an Ultisol of the Brazilian Amazon. *Geoderma*, v.107, p.227-241, 2002.
- GAMA, J. F. N. F. Caracterização e formação de solos com argila de atividade alta no estado do Acre. Itaguaí: UFRRJ, 1986. 150f. (Tese de Mestrado)
- GAMA, J. F. N. F.; KIEHL, J. C. Influência do alumínio de um podzólico vermelho-amarelo do Acre sobre o crescimento das plantas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, p.475-482, 1999.
- GAMA, J. R. N. F.; KUSUBA, T.; AMANO, Y. Influência de material vulcânico em alguns solos do Estado do Acre. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 16, p. 103-106, 1992.
- GOUVEIA, S.E.M.; PESSENDA, L.C.R. Datação da fração húmica da matéria orgânica do solo e sua comparação com idades de ¹⁴C de carvões fósseis. *Química Nova*, v.22, n.6, p.810-814, 1999.

- HOUGHTON, R.A.; LAWRENCE, K.T.; HACKLER, J.L.; BROWN, S. The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. *Global Change Biology*, v.7, p.731-746, 2001.
- KAUFFMAN, J.B.; CUMMING, D.L.; WARD, D.E. Fire in the Brazilian Amazon: 2. Biomass, nutrient pools and losses in cattle pastures. *Oecologia*, v.113, p.415-427, 1998.
- KELLER, M.; PALACE, M.; HURTT, G. Biomass estimation in the Tapajos National Forest, Brazil: examination of sampling and allometric uncertainties. *Forest Ecology and Management*, v.154, p.371-382, 2001.
- LIMA, H. N.; MELLO, J. W. V. DE; SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C.; LIMA, A. M. N. Mineralogia e química de três solos de uma toposeqüência da bacia sedimentar do alto Solimões, Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, n. 1, p. 59-68, 2006.
- LATRUBESSE, E.M.; BOCQUENTIN, J.; SANTOS, C.R.; RAMONELL, C.G. Paleoenviromental model for the late cenozoic of southwestern Amazonia: Paleontology and geology. *Acta Amazonica*, v 27, n. 2, p. 103-118, 1997
- MORAES, J.F.L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M. Soil properties under Amazon Forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. *Geoderma*, v70, p.63-81, 1996.
- MÖLLER, M. R. F.; KITAGAMA, Y. Mineralogia de argilas em cambissolos do sudoeste da Amazônia brasileira. Belém: Embrapa CPATU, 1982. 19p. (Embrapa CPATU. Boletim de Pesquisa, 34).
- MÖLLER, M. R. F.; KITAGAMA, Y.; COSTA, M. P. Distribuição aproximada de minerais argilosos na folha SC-19 Rio Branco. In: ENCONTRO DE PROFISSIONAIS DE QUÍMICA DA AMAZÔNIA, 3., 1982. Manaus, AM. Anais.... Manaus: [s.ed.], 1982. p. 291-306.
- RAIJ, B. van; DE ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Editora IAC, 2001.
- RIBEIRO, M.; KER, J. C.; AMARAL, E. F. do; SILVA, J. R. T.; DUARTE, M. A. Características químicas e mineralógicas de alguns solos do estado do Acre. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 20 a 26 jul 1997, Rio de Janeiro, Resumos.... Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 1 CD-ROM.
- SALIMON, C. I. Respiração do solo sob florestas e pastagens na Amazônia Sul-Ocidental, Acre. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP. 2003.
- SALIMON, C.I.; DAVIDSON, E.A.; VICTORIA, R.L.; MELO, A.W.F. CO₂ flux from soil in pastures and forests in southwestern Amazonia. *Global Change Biology*, v.10, p.833-843, 2004.
- SILVA, J.R.T. Solos do Acre: caracterização física, química e mineralógica e adsorção de fosfato. Viçosa, 1999. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
- SILVEIRA, M.; PAULA, N.M.C.; BROWN, I.F.; NOGUEIRA-BORGES, H.B.; DALY, D.; FERREIRA, L.A. Os "buracos negros" da diversidade: Estudos no Acre revelam precariedade no conhecimento sobre a flora amazônica. *Ciência Hoje*, v.22, p.64-65. 1997.
- SINGH, B.; GILKES, R.J. Nature and properties of iron rich glauabules and mottles from some south-west Australian soils. *Geoderma*, v.71, p.95-120, 1996.
- SOMBROEK, W.G. Soils of the Amazon region. In: SIOLI, H. (Ed.). *The Amazon: limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Dordrecht: Dr. W. Junk Publishers, 1984. cap.20, v. 56, p. 521-535.
- STEVENSON, F. J. *Humus Chemistry*. 2. ed. New York: John Wiley, 1984. 496 p.
- TELLES, E.C.C. Dinâmica do carbono no solo influenciada pela textura, drenagem,

mineralogia e carvões em florestas primárias na região centro-oriental da Amazônia. Piracicaba, 2002. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

TELLES E.D.C.; DE CAMARGO, P.B.; MARTINELLI, L.A.; TRUMBORE, S.E.; COSTA, E.S.; 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, p.1040, 2003.

TRUMBORE, S.; DAVIDSON, E.A.; CAMARGO, P.B.; NEPSTAD, D.C.; MARTINELLI, L.A. Belowground cycling of carbon in forest and pasture of eastern Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*, v.9, p.515-528, 1995.

VOLKOFF, B.; MERLFI, A.J. CERRI, C.C. Solos Podzólicos e Cambissolos eutróficos do alto Purus (Estado do Acre). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 13, n. 3, p. 363-372, 1989.

ⁱ Bacharel em Ciências Biológicas, D.Sc., Professor Adjunto da Universidade Federal do Acre. Avenida Centenário, 303, Distrito Industrial. Caixa-Postal 500, CEP 69915-900, Rio Branco, AC. E-mail: clebsal@gmail.com.br.

ⁱⁱ Engenheiro Agrônomo, D.Sc. Pesquisador, Embrapa Acre. Rod. BR 364, Km 14. Caixa Postal 321. CEP 69909-970, Rio Branco, AC. E-mail: paulo@cpafac.embrapa.br.

ⁱⁱⁱ Engenheiro Agrônomo, M.Sc. Professor Substituto, Universidade Federal do Acre. Avenida Centenário, 303, Distrito Industrial. Caixa-Postal 500, CEP 69915-900, Rio Branco, AC. E-mail: willianflores@ufac.br