



## Carbono orgânico e fracionamento químico da matéria orgânica em solos da Sierra de Ánimas – Uruguai

Ademir Fontana<sup>1</sup>, Lúcia Helena Cunha dos Anjos<sup>2</sup>, Jaime Mujica Sallés<sup>3</sup>,  
Marcos Gervasio Pereira<sup>2</sup>, Roberto Oscar Pereyra Rossiello<sup>2</sup>

CPGA-CS, UFRRJ, BR 465, km 7, Seropédica, RJ. 23890-000<sup>1</sup>

Departamento de Solos, UFRRJ, [lanjos@ufrj.br](mailto:lanjos@ufrj.br)<sup>2</sup>

CPGA-CS, UFRRJ. Universidade Severino Sombra, Centro de Ciências Exatas Tecnológicas e da Natureza, Curso de Ciências Biológicas. Av. Exp. Osvaldo de A. Ramos 280, Conj. Universitário. Centro 2770000 – Vassouras, RJ<sup>3</sup>

Recebido em 12 de Abril de 2005

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi quantificar o teor de carbono orgânico no solo e nas frações da matéria orgânica do solo (MOS) em ambiente de clima temperado, da Sierra de Ánimas, Uruguai. A amostragem dos perfis de solo foi realizada em maio de 2004, em uma topossequência com variação de cobertura vegetal (gramínea e floresta). As frações da matéria orgânica foram caracterizadas pela solubilidade diferencial em ácido e base. Após caracterização analítica dos solos, eles foram classificados, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, como Cambissolos e Neossolos. O carbono orgânico nos solos sob floresta e gramíneas variou de 18,3 a 49,2 g kg<sup>-1</sup> e o C da fração humina (C-Hum) de 5,6 g kg<sup>-1</sup> a 15,2 g kg<sup>-1</sup>. O menor valor da relação C-FAH/C-FAF e maior da relação C-EA/C-Hum sob floresta (0,44 e 0,80) refletem diferenças na qualidade do material vegetal e formação de substâncias húmicas.

**Palavras-chaves:** Substâncias húmicas, clima temperado, variação altitudinal.

### Organic carbon and chemical fractioning of organic matter in soils from Sierra de Ánimas- Uruguay

#### Abstract

The objective of this study was to quantify organic carbon content in soil and in the soil organic matter fractions in an environment of temperate climate, at Sierra de Ánimas (UY). Soil profiles were sampled on May 2004, on a toposequence with ground coverage variation (grass and forest). The organic matter fractions were characterized according to differential solubility in acid and base. The soils were classified, according to the Brazilian Soil System of Classification, as “Cambissolos” (Inceptisols) and “Neossolos” (Entisols). The organic carbon of soils under forest and grass coverage varied from 18.3 to 49.2 g kg<sup>-1</sup>, and the C in the humin (C-Hum) fraction from 5.65 g kg<sup>-1</sup> to 15.24 g kg<sup>-1</sup>. The lowest C-HAF/C-FAF and the highest C-EA/C-Hum ratios were observed in soil samples under forest (0.44 and 0.80) reflect differences in the source of organic material and in the process of humic substances formation.

**Key words:** pioner species, biological nitrogen fixation, P-solubilization

<sup>1</sup> Material coletado para caracterização do ambiente na tese de Doutorado do terceiro autor, apresentado ao CPGA CS, UFRRJ<sup>1</sup>

## Introdução

O uso freqüente do teor de matéria orgânica do solo (MOS) e/ou carbono orgânico do solo como indicador de qualidade do solo se explica em razão de o teor de MOS ser muito sensível às práticas de manejo (Sanches, 1976; Dalal & Mayer, 1986; Greenland et al., 1992; Andreux, 1996; Piccolo, 1996) e pelo fato de a maioria dos atributos do solo e do ambiente, relacionados às funções básicas do solo, ter estreita relação com a MOS (Doran & Parkin, 1994).

As comparações entre solos tropicais e temperados, em relação aos conteúdos de matéria orgânica, devem ser realizadas, preferencialmente, sob vegetação natural. Nessa condição, os fatores de formação do solo são determinantes dos conteúdos de matéria orgânica, influenciando as taxas de adição e perda. Entre esses fatores, destaca-se o clima, em especial a temperatura e precipitação pluviométrica, o material de origem, influenciando a textura do solo, e a vegetação, que regula o aporte de resíduos vegetais (Bayer & Mielniczuk, 1999). Volkoff et al. (1984) constataram, em solos de campos de altitude em Minas Gerais, a influência dos fatores acima citados na dinâmica do carbono orgânico do solo, principalmente, na mineralização e distribuição das frações húmicas.

Além de variações nos teores de carbono orgânico em função da pedogênese, a MOS, ao se decompor, passa por processos de síntese chamados no conjunto de humificação (formação de húmus). O termo substâncias húmicas (SH) é genérico e operacional, para descrever materiais e frações orgânicas obtidas a partir do fracionamento químico da MOS com base em suas características de solubilidade em meio alcalino e ácido (Silva et al., 2000). O procedimento clássico de fracionamento químico da MOS envolve a extração das substâncias húmicas do solo, o que resulta em três frações principais: fração ácido fúlvico (FAF), fração ácido húmico (FAH) e humina (Hum), sendo então determinado o teor de carbono orgânico em cada uma dessas frações. A FAF, de coloração amarelo-amarronzada, e a FAH, de coloração preta ou amarronzada, representam a porção solúvel em meio alcalino, já a fração Hum permanece ligada à fase mineral do solo (McBride, 1994).

As substâncias húmicas desempenham papel importante no fluxo de nutrientes em diversos sistemas ecológicos, na emissão de carbono (C-CO<sub>2</sub>) para a atmosfera e nas interações entre metais pesados e defensivos agrícolas, sendo que cada fração tem efeito diferenciado nos ciclos acima expostos (Valladares et al., 2003).

O objetivo deste trabalho foi quantificar os teores de carbono orgânico do solo e de frações húmicas em solos de clima temperado, sob cobertura de floresta e gramíneas, localizados em diferentes altitudes na Sierra de Ánimas, Uruguai.

## Material e Métodos

A Sierra de Ánimas localiza-se no sudeste do Uruguai, Departamento de Maldonado. Nela encontram-se as principais elevações do país: a oeste, o Cerro de las Ánimas (501m) e ao norte, o Cerro Catedral (518m). A paisagem é constituída por uma sucessão de morros arredondados, unidos pelas bases e alinhados no sentido norte-sul, com extensão aproximada de 30km. A temperatura média anual é de 17° C, com precipitações anuais entre 1.000 e 1.200mm. A cobertura dominante ao redor da serra é a pradaria, com vegetação arbustiva e arbórea nativas nas encostas e, em maior altitude, campos de gramíneas e afloramentos rochosos.

A Sierra de Ánimas apresenta na face oriental afloramentos de sienitos contendo zonas de fácies micropegmatíticas, e no cume e na face ocidental predominam rochas microgranuladas. Os sienitos de grãos grosseiros e os microsienitos e traquitos constituem a massa principal da Sierra de Ánimas (Bossi, 1969). Segundo a classificação local (Altamirano et al., 1976), os solos predominantes são os Inceptisoles Úmbricos, equivalentes aos Cambissolos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999).

A descrição dos perfis e coleta das amostras de solo foi feita no mês de maio de 2004. Foram abertas mini-trincheiras, em função da pequena profundidade dos solos e do fato de ser uma área protegida, em diferentes altitudes e sob distintas coberturas vegetais (Tabela 1), situadas ao longo de duas encostas interconectadas que compõem a parte da serra voltada para o oceano Atlântico. A caracterização

dos solos foi realizada segundo Embrapa (1997). A descrição e classificação dos perfis foram feitas segundo Lemos & Santos (1996) e Embrapa (1999).

O teor de carbono orgânico foi determinado em triplicata segundo Embrapa (1997). Para o fracionamento químico da MOS foi utilizada a técnica de solubilidade diferencial (Kononova, 1966; Dabin, 1976), segundo modificação de Benites et al. (2003). As frações da matéria orgânica foram identificadas, segundo os termos estabelecidos pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas, em fração ácido fúlvico (FAF), fração ácido húmico (FAH) e fração humina (Hum). Para cada ponto, foram analisadas amostras em triplicata, tomando-se material de solo com peso variando de 0,61 a 1,82 g, equivalente à cerca de 30 mg de carbono, calculadas a partir do teor de carbono orgânico do solo.

As FAF e FAH foram extraídas com 20 ml de solução de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> em contato, por um tempo de 24 horas. A separação entre o extrato alcalino e o resíduo foi feita por centrifugação a 5000 g (FCR<sub>média</sub>) por 30 minutos. Seguiu-se uma lavagem com a solução anterior e juntaram-se os extratos obtidos, resultando em volume final de cerca de 40 ml e o resíduo reservado. O pH do extrato alcalino (EA) foi ajustado a 1,0 com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20%, seguido de decantação por 18 horas. O precipitado (FAH) foi separado da fração solúvel (FAF) por filtragem. As frações FAF e FAH foram então transferidas para tubos de centrífuga e os volumes aferidos a 50 ml com água destilada. A determinação do carbono orgânico nas FAF e FAH foi feita em alíquotas de 5,0 ml de extrato, com 1,0 ml de dicromato de potássio 0,042 mol L<sup>-1</sup> e 5,0 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, em bloco digestor a 150° C (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L<sup>-1</sup>. No resíduo reservado da extração da fração ácido húmico, foi determinado o carbono orgânico na fração Hum (C-Hum), após secagem em estufa a 65°C, adicionando 5,0 ml de dicromato de potássio 0,1667 mol L<sup>-1</sup> e 10,0 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, em bloco digestor a 150°C (30 min), utilizando na titulação sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L<sup>-1</sup>.

Foram calculadas a soma do carbono orgânico humificado (COH = C-FAF + C-FAH + C-Hum), as relações entre o teor de Carbono orgânico nas frações ácido húmico e ácido fúlvico (C-FAH/C-FAF), entre

as frações solúveis no extrato alcalino (C-EA = C-FAF + C-FAH) e na fração humina (C-EA/C-Hum) e o carbono orgânico não humificado {CONH = Carbono orgânico da amostra - (C-AF + C-AH + C-Hum)}.

## Resultados e Discussão

Os perfis de solo foram classificados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, segundo Embrapa (1999) (Tabela 1). Destaca-se nos solos os altos teores de bases e a alta atividade da fração argila (caráter Eutrófico e Ta), características distintas do comumente observado nos solos tropicais, relacionadas ao clima temperado e a influência do material originário.

Com relação ao Carbono orgânico no horizonte A, a variação entre os teores nos Neossolos e Cambissolos foi de 18,3 a 49,2 g kg<sup>-1</sup>, com os extremos nos pontos C e D, respectivamente (Figura 1). O menor teor de C org no ponto C, sob cobertura de floresta, pode ser atribuído a menor deposição de material orgânico (folhas e galhos) provenientes da floresta e/ou pelo teor de substâncias orgânicas (material vegetal) de mais difícil decomposição devido à alta relação C:N e do maior teor celulose e lignina presente nos ramos e galhos. Foth (1984) destaca que solos de mesmo ambiente mas com cobertura de gramíneas apresentam maior quantidade de matéria orgânica que solos de floresta. Diversos trabalhos apontam para a contribuição do sistema radicular de gramíneas no aporte de matéria orgânica ao solo e sua interação na agregação do solo e proteção física da matéria orgânica humificada (Greenland, 1965; Fisher et al., 1994; Scurlock & Hall, 1998).

Os Neossolos apresentam menor grau de desenvolvimento do perfil (material subjacente mais grosseiro e proximidade da rocha) e menor profundidade do solo em comparação com os Cambissolos, portanto a matéria orgânica é acumulada no horizonte superficial. A adição de material orgânico por meio da biomassa da parte aérea e raízes é maior nas áreas com gramíneas, o que é evidenciado pelos maiores teores de Carbono orgânico (Figura 1) no horizonte A dos solos situados nos pontos A, B e D em relação à área com cobertura

**Tabela 1.** Classificação do solo, atributos morfológicos<sup>1</sup>, cobertura vegetal e altitude dos perfis estudados.  
**Table 1.** Soil classification, morphological attributes, ground coverage, and altitude of the studied profiles.

Hori-	Prof. (cm)	Cor úmida	Classe de textura	Estrutura <sup>2</sup>	Consistência <sup>3</sup>
<b>Ponto A - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico, gramíneas, 34m</b>					
A	0-20	5YR 3/1	franco	mo, md, gr e bsa	du, fri, pl e pg
Bi	20-50 <sup>+</sup>	10YR 3/2	franco argilosa	ba e bsa	du, fi, mpl e mpg
<b>Ponto B - NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico, gramínea, 234m</b>					
A	0-30	5YR 2,5/1	franco argilosa	mo e fo, pq e md, gr	mfri, ldu, lpl e lpg
R	30 <sup>+</sup>	–	fragmentos de rocha e rocha pouco alterada		
<b>Ponto C - CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico, floresta, 285m</b>					
A	0-30	7,5YR 3/2	franco argilosa	mo, pe e md, gr e bsa	fri, pl e pg-
Bi	30-66 <sup>+</sup>	5YR 3/4	muito argiloso	bsa	ldu, fri, mpl e mpg
<b>Ponto D - NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico, gramínea, 388m</b>					
A	0-20	7,5YR 4/2	franco	mo, pe, gr	ldu, mfri, lpl e npg
R	20 <sup>+</sup>	–	rocha pouco alterada		

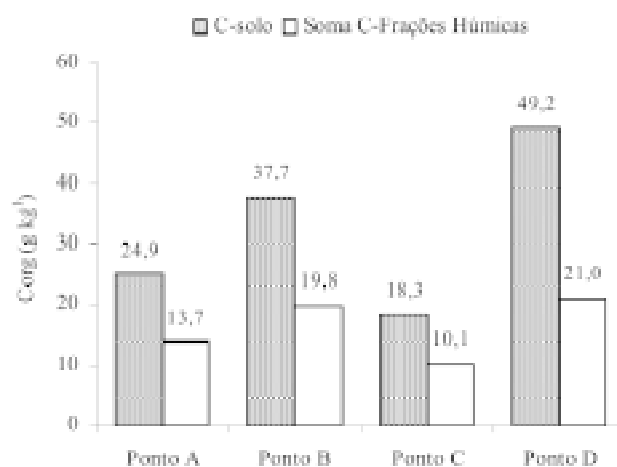
<sup>1</sup> Embrapa (1999) e Lemos & Santos (1996).

<sup>2</sup> fr= fraca; mo= moderada; fo= forte; pq= pequena; md= média; gr= granular; ba= blocos angulares; bsa = blocos subangulares.

<sup>3</sup> ldu = ligeiramente duro; du = duro; mfri = muito friável; fri = friável; fi = firme; lpl = ligeiramente plástico; pl = plástico; mpl = muito plástico; npg = não pegajoso; lpg = ligeiramente pegajoso; pg = pegajoso e mpg = muito pegajoso.

florestal (C). Ainda, o ponto D está situado em posição de topo plano (sela), sob cobertura de campo de altitude, com predomínio de vegetação herbácea de espécies de gramíneas e associada à drenagem impedida pelo contato com a rocha, à pequena profundidade e altitude mais elevada em relação aos demais pontos. Esse conjunto de fatores favorece a manutenção do Carbono orgânico e explica os maiores teores em relação a todas as áreas amostradas.

Na Figura 1 estão representados os teores de Carbono orgânico e a soma do C das frações húmicas, nos diferentes pontos. Destaca-se que os teores de Carbono orgânico nas frações húmicas foi cerca de 50% inferior ao Carbono orgânico do solo em todos os pontos amostrados, indicando a influência do clima, altitude e grau de desenvolvimento do solo no processo de humificação. Fontana et al. (2001), estudando solos de tabuleiros costeiros e ambiente



**Figura 1.** Valores de Carbono orgânico do solo e soma do C das frações húmicas do horizonte A nos diferentes pontos amostrados.

**Figure 1.** Values of soil organic carbon and sum of C from humic fraction of A horizon from the different sites sampled.

tropical sob diferentes coberturas, inclusive floresta e pastagem (gramínea), observou que a soma das

**Tabela 2.** Caracterização analítica dos perfis de solos em uma vertente na Sierra de Ánimas.  
**Table 2.** Analytic characterization of soil profiles on a slope at Sierra de Ánimas – UY.

Horizonte	Areia	AT <sup>1</sup>	Silte	pH	C org	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H +Al	SB	T	V	P
Prof. cm	.....gkg <sup>-1</sup> .....			H <sub>2</sub> O	gkg <sup>-1</sup>	.....cmolc kg <sup>-1</sup> .....					%	mg kg <sup>-1</sup>			
<b>(A) CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico A moderado</b>															
A (0-20)	315	218	467	6,0	24,9	6,8	4,6	1,03	3,77	0,0	3,9	16,2	20,1	81	4
Bi (20-50)	280	290	430	6,9	16,5	10,0	7,9	1,21	1,14	0,0	2,1	20,25	22,3	91	2
<b>(B) NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico</b>															
A (0 – 20)	310	334	356	6,1	37,7	13,7	6,6	0,56	0,19	0,0	7,1	21,05	28,1	75	4
<b>(C) CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico típico A moderado</b>															
A (0 – 30)	385	379	236	5,6	18,3	2,2	5,7	0,58	0,22	1,3	9,2	8,50	17,7	48	1
Bi (30 – 66)	119	694	187	5,3	8,0	3,2	7,7	0,33	0,27	3,2	10,2	11,50	21,7	53	1
<b>(D) NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico típico A moderado</b>															
A (0 – 20)	434	232	334	5,3	49,2	4,1	3,4	0,74	0,17	0,0	6,8	8,41	15,2	55	6

<sup>1</sup>AT = Argila Total, C org = Carbono orgânico, SB= Soma de Bases, T= CTC a pH 7,0, V= Saturação por Bases, P= Fósforo (Mellich 1).

frações húmicas representou de 51% a 70% dos teores de C org dos solos.

Na Tabela 3 são apresentados os valores das diferentes frações que constituem o COH (FAF, FAH e Hum), o percentual dessas frações relativo ao teor de Carbono orgânico (COH e CONH) e as relações entre C-FAH/C-FAF e C-EA/C-Hum. Para a FAF, observou-se uma variação nos teores de carbono de 2,2 a 3,1 g kg<sup>-1</sup>, nos pontos B e ponto C, respectivamente. Já a FAH, apresentou comportamento inverso ao anterior, com valores de Carbono orgânico variando de 1,3 a 4,4 g kg<sup>-1</sup>. Na fração Hum, foi observado comportamento similar ao do C org do solo, com valores variando de 5,6 g kg<sup>-1</sup> a 15,2 g kg<sup>-1</sup>, sendo os extremos nos pontos C e D, respectivamente. Os maiores valores nos pontos B e D podem estar relacionados ao menor grau de alteração pelo acesso mais limitado na vertente e a cobertura de gramíneas. O ponto A, no início da vertente, já apresenta modificações pelo uso como área de pastagem e maior tráfego humano.

A distribuição em percentagem das diferentes frações que representam o COH e o teor de Carbono orgânico não humificado (Tabela 3) mostra comportamento similar nos pontos A, B e C, com contribuição do Carbono orgânico na forma de CONH variando de 44 a 57%. Esta observação indica uma lenta transformação da matéria orgânica nas

condições de solo e clima avaliadas. No ponto D, atribui-se à forma de relevo plano e abaciado (sela) e à maior altitude, os maiores valores de CONH (57%), preservando a matéria orgânica fresca e retardando o processo de humificação. Neste perfil, a proximidade da rocha e a pequena profundidade do perfil fazem com que nos períodos chuvosos haja permanência de água na superfície do solo, em um processo característico de áreas de surgência (nascentes) em regiões montanhosas. Nos demais pontos os teores de Carbono orgânico nas frações FAH, FAF e Hum são maiores que o teor como CONH. A fração húmica foi a segunda maior contribuição no teor de C org do solo e representou a maior parte do carbono orgânico humificado (COH), variando de 31% a 37%.

A predominância da fração húmica também foi observada por Volkoff et al. (1984) em horizontes superficiais de solos de campos de altitude no Brasil, onde, em três tipos de solos, cerca de 40% do Carbono orgânico era representado por esta fração. Fontana et al. (2001) estudando dois solos intemperizados em ambiente tropical observaram que a fração Hum representava de 30 a 41% do Carbono orgânico na camada superficial do solo.

Em relação ao tipo de solo e as FAF e FAH (Tabela 3), observa-se o predomínio de Carbono orgânico na FAF nos Cambissolos (A e C), enquanto nos Neossolos (B e D) o teor na FAH é maior,

**Tabela 3.** Teor de carbono orgânico<sup>1</sup> e sua distribuição percentual nas frações húmicas e Carbono orgânico não humificado no horizonte A nos diferentes pontos amostrados.

**Table 3.** Organic carbon content and percent distribution in the humic fractions and org C in the non humic fraction of A horizon from the different sites sampled.

Propriedades <sup>2</sup>	Ponto A		Ponto B		Ponto C		Ponto D	
	g kg <sup>-1</sup>	%	g kg <sup>-1</sup>	%	g kg <sup>-1</sup>	%	g kg <sup>-1</sup>	%
C-FAF	3,0	12	2,2	6	3,1	17	2,4	5
C-FAH	1,5	6	4,4	12	1,3	7	3,3	7
C-Hum	9,2	37	13,1	35	5,6	31	15,2	31
CONH	11,1	45	17,9	47	8,1	45	28,2	57
C-FAH/C-FAF	0,5	-	1,9	-	0,4	-	1,3	-
C-EA/C-Hum	0,4	-	0,5	-	0,8	-	0,3	-

<sup>1</sup> Valores correspondentes à média de triplicatas.

<sup>2</sup> C-FAF = Carbono orgânico Fração Ácido Fúlvico, C-FAH = Carbono orgânico Fração Ácido Húmico, C-Hum = Carbono orgânico Fração Humina, CONH = Carbono orgânico não humificado; C-EA = Carbono orgânico Extrato Alcalino (C-FAF + C-FAH).

indicando que o material regolítico e o pequeno grau de desenvolvimento do solo (Neossolo Litólico) podem estar influenciando na dinâmica das frações, principalmente no caso da fração mais solúveis.

Os valores da relação C-FAH/C-FAF variaram de 0,44 a 1,97 (Tabela 3), com predomínio da FAF nos pontos A e C (relação menor que 1,0) e, da FAH nos pontos B e D (relação maior que 1,0). As relações maiores que 1,0 são explicadas por condições de solo e clima onde os processos de polimerização e condensação são favoráveis. Já os valores menores que 1,0 indicam perda seletiva da FAF e ou desfavorecimento da síntese e acumulação da fração mais estável (FAH).

A relação C-EA/C-Hum variou de 0,38 a 0,80, indicando o predomínio da fração Hum na camada superficial de todos os solos. No caso do menor valor, ponto D (Neossolo), o relevo local plano associado à temperatura mais baixa, maior umidade e altitude, estariam preservando esta fração da mineralização e/ou propiciando acúmulos por vias abióticas de condensação.

## Conclusões

O teor de carbono orgânico nos horizontes su-

perficiais dos solos estudados e a sua distribuição nas frações da matéria orgânica variaram com o grau de pedogênese, a cobertura vegetal (floresta e gramíneas) e a altitude. Os maiores teores de Carbono orgânico e os maiores valores da soma das frações húmicas foram observados nos Neossolos Litólicos. A relação entre o C-FAH/C-FAF, com valores superiores a 1,0 nos solos rasos e menos desenvolvidos, mostra diferenças na dinâmica das transformações da matéria orgânica entre os solos. Menor valor da relação C-FAH/C-FAF e maior da relação C-EA/C-Hum no solo sob floresta (0,44 e 0,80, respectivamente) refletem diferenças na qualidade do material vegetal e nos processos de formação de substâncias húmicas.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO (CNPq), através do Projeto Prosul número 690204/2003-5, e o apoio técnico de Professores da Facultad de Ciencias da Universidad de la República (Montevideo, URUGUAY)

## Referências Bibliográficas

- ALTAMIRANO, A.; DA SILVA, H.; A. DURÁN, A.; ECHEVARRÍA, A.; PANARIO, D.; PUENTES, R. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. Clasificación de suelos. Montevideu: Instituto Geográfico Militar 1. 1976. 96p.
- ANDREUX, F. Humus in world soils. In: PICCOLO, A. (Ed.) Humic substance in terrestrial ecosystems. Amsterdam: Elsevier, 1996, p. 45-100.
- BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A. & CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica: ecossistemas tropicais e subtropicais. Editora Genesis, Porto Alegre, 1999, 508 p.
- BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. de A. Extração e fracionamento quantitativo de substância húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2003, 7 p. (Comunicado Técnico, 16).
- BOSSI, J. Geología del Uruguay. Univ. de la Repúbl. Colecc. Ci. 2. 2ªed, 1969, 469p.
- DABIN, B. Méthode d'extraction et de fractionnement des matières organiques dans les sols tropicaux. Chah Orston, ser pédol., 4:287 – 297, 1976.
- DALAL, R. C. & MAYER, R. J. Long-term trends in fertility of soil under continuons cultivation and cereal cropping in Southern Queensland: II. Total organic carbon and its rate loss from soil profile. Australian Journal of Soil Research, Melbourne, 24:281-292, 1986.
- DORAN, J.W. & PARKIN T.B.. Defining and assessing soil quality. In: J.W. DORAN; D.C. COLEMAN; D.F. BEZDICEK & B.A. STEWART. Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Spec. Publ. 35. SSSA, Madison, WI, p. 3-21, 1994.
- EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos Rio de Janeiro, 1999, 412 p.
- FISHER, M.J.; RAO, I.M.; AYARZA, M.A.; LASCANO, C.E.; SANZ, J.I.; THOMAS, R.J. & VERA, R.R. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. Nature, 371:236-238, 1994.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; NASCIMENTO, G. B. do; ANJOS, L. H. C. dos & EBELING, A. G. Matéria orgânica em solos de tabuleiro na Região Norte Fluminense do RJ. Floresta & Ambiente, Instituto de Florestas - UFRRJ, 8(1):114-119, 2001.
- FOTH H. D. Fundamentals of Soil Science. John Wiley & Sons, New York, 1984.
- GREENLAND, D. J. Interaction between clays and organic compounds in soils. II. Adsorption of soil organic compounds and its effects on soil properties. Soils and Fertilizers, Fornham Royal, 28: 521-532, 1965.
- GREENLAND, D. J.; WILD, A.; ADANS, D. Organic matter dynamics in soils of the tropics – From myth to complex reality. In: LAL, R. et al. (Eds.) Myths and science of soil in the tropics. Madison, ASA/SSSA, 1992, p. 17-33.
- KONONOVA, M. M. Soil organic matter. New York: Pergaon Press, 1966. 555p, 2ª ed.
- LEMONS, R. C.; SANTOS, R. D. dos. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3. Ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 83p.
- MCBRIDE, M. B. Environmental chemistry of soils. New York: Oxford University Press, 1994. 406 p.

- PICCOLO, A. Humic and soil conservation. In: PICCOLO, A. (Ed.) Humic substance in terrestrial ecosystems. Amsterdam: Elsevier, 1996, p. 225-264.
- SANCHES, P. A. Properties and management of soils in the tropics. New York: John Wiley, 1976, 618 p.
- SCURLOCK, J.M.O.; HALL, D.O. The global carbon sink: a grassland perspective. *Global Change Biology*, 4:229- 233, 1998.
- SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERRETA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo. Editora Genesis, Porto Alegre, 2000, 174 p.
- VALLADARES, G. S.; BENITES, V. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C. dos; EBELING, A. G. Proposta para classificação de Organossolos em níveis inferiores com base nas frações húmicas. Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, 2003, 35 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2).
- VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. & MELFI, A. J. Húmus e mineralogia dos horizontes superficiais de três solos de campos de altitude dos Estados de Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 8:277-283, 1984.