

SEÇÃO V - GÊNESE, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

QUANTIFICAÇÃO E UTILIZAÇÃO DAS FRAÇÕES HÚMICAS COMO CARACTERÍSTICA DIFERENCIAL EM HORIZONTES DIAGNÓSTICOS DE SOLOS BRASILEIROS⁽¹⁾

Ademir Fontana⁽²⁾, Marcos Gervasio Pereira⁽³⁾, Lúcia Helena Cunha dos Anjos⁽³⁾ & Vinicius de Melo Benites⁽⁴⁾

RESUMO

As informações obtidas pela distribuição das frações húmicas podem ser utilizadas em estudos pedológicos brasileiros como atributo diagnóstico ou característica diferencial e, assim, contribuir para a evolução do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Os objetivos deste trabalho foram quantificar o C orgânico das frações húmicas de horizontes diagnósticos superficiais e subsuperficiais de solos e propor a utilização no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Foram utilizados 169 horizontes diagnósticos distribuídos entre O histórico, H histórico, A chernozêmico, A húmico e B espódico. Eles foram avaliados quanto à composição química e física. Quantificaram-se os teores de C orgânico nas frações: ácidos fúlvicos (C-FAF), ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-HUM). Foram calculadas as relações C-FAH/C-FAF, C-EA/C-HUM e C-EA/COT (C-EA = C-FAF + C-FAH) e o percentual de cada fração em relação a C orgânico total (COT), %FAF, %FAH, %HUM e %EA (extrato alcalino). Os horizontes O e H histórico apresentaram predomínio do C-HUM, seguido do C-FAH; o A chernozêmico, dominância absoluta do C-HUM; o A húmico, predomínio da C-HUM, seguido do C-FAH; e o B espódico, maior expressividade de C-FAH ou do C-FAF. Com base na avaliação da distribuição das frações húmicas, propõe-se o uso das seguintes características diferenciais para os níveis de família e série do SiBCS: matéria orgânica estável (horizontes minerais superficiais) – C-EA/C-HUM ($\leq 0,5$); matéria orgânica iluvial (horizontes minerais subsuperficiais) – C-EA/C-HUM ($\geq 2,0$); e potencial de lixiviação (sistema ou solo) - C-FAH/C-FAF e C-EA/C-HUM ($\geq 1,0$).

Termos de indexação: fracionamento quantitativo, caracterização e classificação de solos.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor no Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. Recebido para publicação em março de 2009 e aprovado em maio de 2010.

⁽²⁾ Doutor em Agronomia - Ciência do Solo. UFRRJ. Engenheiro-Agrônomo, INCRA, Av. Senador Robert Kennedy, São Torquato, CEP 29114-300 Vila Velha (ES). E-mail: ademir.fontana@gmail.com

⁽³⁾ Professor Associado II. Departamento de Solos da UFRRJ. Bolsista do CNPq. E-mails: gervasio@ufrj.br, lanjosh@ufrj.br

⁽⁴⁾ Pesquisador, Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico 1024, CEP 22460-000 Rio de Janeiro (RJ). E-mail: vinicius@cnps.embrapa.br

SUMMARY: HUMIC FRACTIONS QUANTIFICATION AS A DIFFERENTIAL CHARACTERISTIC AND USE IN DIAGNOSTIC HORIZONS IN BRAZILIAN SOILS

The information obtained through the humic fractions distribution can be used in Brazilian soil studies as a diagnostic attribute or differential characteristic and therefore, contribute to the evolution of Brazilian System of Soil Classification (SiBCS). The objective of this study was to quantify the organic carbon in humic fractions of surface and subsurface diagnostic soil horizons and propose the use in the Brazilian system of soil classification. A total of 169 diagnostic horizons distributed between Folistic Epipedon (O hístico), Histic Epipedon (H hístico), Mollic Epipedon (A chernozêmico), Umbric Epipedon (A húmico) and Spodic Horizon (B espódico) were used for this study. These horizons were evaluated for chemical and physical composition. The organic carbon tenors in the fractions: fulvic acids (C-FAF), humic acids (C-HAF) and humin (C-HUM) were quantified. C-HAF/C-FAF, C-AE/C-HUM and C-AE/COT (C-AE = C-FAF+C-HAF) ratio and the percentage of each fraction in the total organic carbon (TOC), %FAF, %HAF, %HUM, %AE (Alkaline Extract) were calculated. The Folistic and Histic Epipedon presented predominance of C-HUM, followed by C-HAF, the Mollic Epipedon presented absolutely dominance of C-HUM, the Umbric Epipedon presented predominance of C-HUM, followed by C-HAF and on Spodic Horizon were observed more expressive of C-HAF or C-FAF. The information of the distribution of humic fractions suggests the use of the following differential characteristics for the families and series levels of SiBCS: stable organic matter (surface mineral horizons): C-AE/C-HUM (≤ 0.5); iluvial organic matter (subsurface mineral horizons): C-AE/C-HUM (≥ 2.0) and the potential for leaching (system or soil): C-HAF/C-FAF and C-AE/C-HUM (≥ 1.0).

Index terms: quantitative fractionating, characterization and soil classification.

INTRODUÇÃO

As frações húmicas são de grande relevância nos estudos relacionados à pedologia, em razão de estarem envolvidas no intemperismo de minerais, acelerando ou retardando a neoformação de minerais secundários (Ehrlich, 1990), reduzindo o grau de cristalinidade de óxidos de ferro (Pereira & Anjos, 1999), promovendo modificações na relação hematita/goethita (Kämpf & Schwertman, 1983) e atuando nos processos de formação e diferenciação de horizontes de solos (Duchaufour, 1977; Buol et al., 1980; Fanning & Fanning, 1989).

Dentro dos diferentes horizontes diagnósticos estabelecidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Embrapa, 2006), pode-se relatar a importância das frações húmicas nos horizontes O e H hístico, destacando as diferenças entre os pedoambientes (Conceição, 1989; Mendonça, 1999; Valladares et al., 2007); no A chernozêmico, complexando cátions solúveis na superfície do solo e formando fulvatos e humatos de Ca (complexo orgânico-mineral estável) (Duchaufour, 1977; Theng, 1979; Buol et al., 1980; Corrêa et al., 2003); no A húmico, contribuindo para a ocorrência de espessas camadas com elevados teores de matéria orgânica (Lepsch & Buol, 1988; Embrapa, 2006); e no B espódico, formando complexos organometálicos com os íons Al e Fe que são eluviados ao longo do perfil para formar os horizontes Bh ou Bhs (Buol et al., 1980; Gomes et al., 1998b; Benites et al., 2001).

Nesse sentido, as informações obtidas a partir da análise da distribuição das frações húmicas podem

contribuir para os estudos pedológicos, podendo ser utilizadas como atributo diagnóstico ou propriedade diferencial. Sua utilização tem por base a análise da distribuição dessas frações ao longo do perfil de solo, sendo esta condicionada por sua mobilidade e também pela maior ou menor interação das frações com a matriz mineral. A maior mobilidade e, ou, estabilidade dessas frações influencia na diferenciação dos horizontes, com reflexos em suas propriedades físicas e químicas.

Para Fontana et al. (2008a), a distribuição das frações húmicas contribui para o entendimento dos processos pedogenéticos, o que propicia a utilização para caracterização de horizontes diagnósticos e ordens de solos do SiBCS. Valladares et al. (2003) apresentaram uma proposta de uso das frações húmicas para a ordem dos Organossolos como propriedade diferencial para os níveis de família e série (quinto e sexto níveis categóricos) do SiBCS (Embrapa, 2006). As diferenças observadas nos teores e na distribuição das frações húmicas não só expressam variações na pedogênese bem como permitem relacioná-las com atributos relevantes ao manejo dos solos (Anjos et al., 2008).

Segundo Embrapa (2006), o quinto e sexto níveis categóricos são utilizados para atender a funções pragmáticas. As características diferenciais e propriedades que alteram o uso e o manejo do solo para fins diversos devem ser priorizadas para a classificação nesses dois níveis categóricos. Dessa forma, as frações húmicas apresentam-se como propriedade diferencial a ser utilizada nesses níveis categóricos.

Os objetivos deste trabalho foram quantificar o C orgânico das frações húmicas de horizontes diagnósticos superficiais e subsuperficiais de solos e propor a utilização no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras de 169 horizontes diagnósticos, sendo 13 O hístico, 30 H hísticos, 42 A chernozênicos, 39 A húmicos e 45 B espódicos. Esses horizontes foram selecionados devido á maior participação da matéria orgânica em sua composição (Anjos et al., 2008). Os horizontes foram coletados em diferentes regiões fisiográficas do Brasil, sendo analisados e classificados segundo Embrapa (1997, 2006).

As frações húmicas foram identificadas segundo técnica de solubilidade diferencial estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Swift, 1996), conforme adaptação feita por Benites et al. (2003a).

Para a extração das frações húmicas, foi utilizada uma massa de solo igual a 1,0 g, submetida a contato com 20 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ por 24 h, sendo após esse período separado o extrato alcalino e o resíduo por meio de centrifugação a 5.000 g por 30 min. Seguiu-se mais uma lavagem com a mesma solução, juntando-se o extrato com o anteriormente obtido, resultando em volume final de aproximadamente 40 mL. O resíduo então foi retirado dos tubos da centrífuga, acondicionado em placa de Petri e secado a 65 °C (secagem completa). O pH do extrato alcalino foi ajustado a 1,0 (± 0,1) com H₂SO₄ 20 %, seguido de decantação por 18 h em geladeira. Após esse período, o precipitado (fração ácidos húmicos) foi separado da fração solúvel (fração ácidos fúlvicos) por filtragem e

ambos os volumes aferidos a 50 mL, com água destilada.

A quantificação do C orgânico nas frações ácidos fúlvicos e húmicos foi feita usando-se alíquotas de 5,0 mL de extrato, 1,0 mL de dicromato de potássio 0,042 mol L⁻¹ e 5,0 mL de H₂SO₄ concentrado, em bloco digestor a 150 °C (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L⁻¹. No resíduo seco em estufa, foi determinado o C orgânico na fração humina, adicionando-se 5,0 mL de dicromato de potássio 0,1667 mol L⁻¹ e 10,0 mL de H₂SO₄ concentrado, em bloco digestor a 150 °C (30 min) e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L⁻¹ e indicador ferroin (Yeomans & Bremner, 1988).

Com isso, obteve-se o C orgânico da fração ácidos fúlvicos (C-FAF), fração ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-HUM), bem como as relações C-FAH/C-FAF, C-EA/C-HUM e C-EA/COT, sendo (C-EA = C-FAF + C-FAH) (Benites et al., 2003a). Também foi calculado o percentual de cada fração em relação a C orgânico total (COT), %FAF, %FAH, %HUM e %EA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização dos horizontes diagnósticos e distribuição e correlação das frações húmicas

Horizontes O hísticos

Nestes horizontes de constituição orgânica e de drenagem livre, não foi verificada grande variação nos teores de COT, estando os valores entre 81,6 e 228,0 g kg⁻¹ (Quadro 1). Contudo, Dias et al. (2003), estudando solos altimontanos do Parque Estadual do Ibitipoca, verificaram maior amplitude do COT, com teores entre 95,0 e 520,0 g kg⁻¹.

Quadro 1. Características gerais, morfológicas e químicas dos horizontes O hístico

Perfil	Horiz.	Profundidade	Localização	Ambiente	COT	pH H ₂ O	SB ⁽²⁾	H ⁺	CTC	Al ³⁺	V
		cm			g kg ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹			%	
CA1	O	0-18	Alt o Caparaó/MG	IA ⁽¹⁾	190,0	5,2	1,50	37,8	42,30	3,0	3
CA4	O	0-20	Alto Caparaó/MG	IA	114,0	4,9	1,20	32,9	36,70	2,6	3
CD1	O	0-9	Palmeiras/BA	IA	116,0	3,7	4,70	34,1	41,80	3,0	11
CD6	O	0-13	Palmeiras/BA	IA	118,0	3,6	4,20	38,8	45,60	2,6	9
IB6	O	0-30	Lima Duarte/MG	IA	169,0	4,0	1,70	58,9	67,70	7,1	2
LS1	O	0-15	Lindóia do Sul/SC	I	118,2	6,8	37,17	3,8	40,97	0,0	91
MB9	O	0-23	Bocaina de Minas/MG	IA	116,0	4,7	1,60	34,8	41,50	5,1	4
P1	O	0-23	Bodoquena/MS	I	104,9	7,5	47,60	1,6	49,20	0,0	97
PR3	O	0-20	Curitiba/PR	IA	228,0	5,7	14,90	24,2	39,80	0,7	37
RJ2	O1	0-42	Itatiaia/RJ	IA	170,4	4,8	1,92	33,0	34,92	0,0	5
RJ2	O2	42-55	Itatiaia/RJ	IA	98,6	5,6	0,14	14,9	14,99	0,0	1
RS2	O	0-25	Cambará do Sul/RS	IA	81,6	4,0	2,07	17,4	23,97	4,5	9
RS3	O	0-25	Canela/RS	IA	108,8	4,8	3,25	36,7	43,05	3,1	8

⁽¹⁾ IA: Interior/Altimontano. ⁽²⁾ I: Interior. ⁽³⁾ COT: carbono orgânico total. ⁽⁴⁾ SB: soma de bases. ⁽⁵⁾ H⁺: hidrogênio trocável. ⁽⁶⁾ CTC: capacidade de troca de cátions. ⁽⁷⁾ Al³⁺: alumínio trocável. ⁽⁸⁾ V %: saturação por bases.

Os teores de C orgânico das frações húmicas apresentaram ampla variação, com o C-FAF variando de 2,8 a 35,8 g kg⁻¹; o C-FAH, de 1,4 a 58,4 g kg⁻¹; e o C-HUM, de 26,0 a 132,5 g kg⁻¹; sendo observado predomínio da humina, correspondendo em média a 53 % do COT (Quadro 2). Para a relação C-FAH/C-FAF os valores variaram de 0,3 a 5,7, com predomínio de valores maiores que 1,0, enquanto a relação C-EA/C-HUM apresentou valores entre 0,1 e 1,1, os quais, em sua maioria, foram menores que 1,0 (Quadro 2). A ampla variação dos valores dessas relações é um indicativo da heterogeneidade entre os materiais orgânicos, material de origem desses solos, bem como da diferença de intensidade do processo de humificação da matéria orgânica.

Foram observadas correlações positivas entre o C-FAH com H⁺ (0,69) e Al³⁺ (0,52) e da %FAH com Al³⁺ (0,75). Também foi verificada correlação positiva entre o COT e C-FAH com a CTC (0,50). Essas correlações demonstram a influência das frações húmicas na dinâmica da acidez potencial e ativa. Os grupos funcionais COOH e OH dissociam-se a valores de pH 3,0, liberando o H⁺ para a solução (Carey & Sundberg, 1990), que vão contribuir na acidez potencial e na capacidade de retenção de cátions polivalentes (Sposito, 1989; Stevenson, 1994; Canellas et al., 2008).

Horizontes H hísticos

Nestes horizontes orgânicos de drenagem impedida, diferindo do que foi observado para os horizontes O hísticos, os teores de COT apresentaram grande amplitude de variação, sendo mais elevados e

estando entre 82,4 e 638,6 g kg⁻¹, demonstrando a riqueza e heterogeneidade do material orgânico – material de origem para estes horizontes (Quadro 3). Valores semelhantes foram observados por Valladares et al. (2007) na caracterização de Organossolos de várias regiões fisiográficas do Brasil, estando os teores entre 91,7 e 555,4 g kg⁻¹. Gomes et al. (2007), em solos da Ilha do Cardoso (SP), também verificaram ampla variação, com teores de COT entre 121,0 e 442,0 g kg⁻¹.

Os teores de C orgânico das frações húmicas apresentaram grande variação: para o C-FAF, de 2,7 a 32,7 g kg⁻¹; para o C-FAH, entre 3,0 e 159,2 g kg⁻¹; e para o C-HUM, de 16,5 a 279,3 g kg⁻¹. Foi observado predomínio da humina, com média de 39 %, seguida pelos ácidos húmicos, com média de 29 % (Quadro 4). O predomínio da humina foi também relatado por Valladares et al. (2007) em estudo com Organossolos, com valores médios de 44 %, seguida pelos ácidos húmicos. Conceição et al. (1999), em Organossolos da baixada litorânea do Rio de Janeiro, observaram valores médios de 82 % para a humina.

Quanto à relação C-FAH/C-FAF, verificou-se que os valores variaram de 0,8 a 13,6, com predomínio de valores maiores que 2,0. A relação C-EA/C-HUM apresentou valores entre 0,2 e 7,2; 16 horizontes apresentaram valores menores que 1,0 e 26 horizontes que 2,0 (Quadro 4), sendo esse padrão também observado por Valladares et al. (2007). Como nos horizontes O hísticos, a ampla variação dos valores destas relações é um indicativo da heterogeneidade entre os materiais de origem destes solos, bem como da diferença de intensidade do processo de humificação da matéria orgânica.

Quadro 2. Distribuição do carbono orgânico total, carbono orgânico das frações húmicas e relações nos horizontes O hísticos (n = 13)

Perfil	Horiz.	g kg ⁻¹				%						
		COT ⁽¹⁾	C-FAF ⁽²⁾	C-FAH ⁽³⁾	C-HUM ⁽⁴⁾	FAF ⁽⁵⁾	FAH ⁽⁵⁾	HUM ⁽⁵⁾	EA ⁽⁵⁾	C-FAH/ C-FAF	C-EA/ C-HUM	C-EA/ COT
CA1	O	190,0	24,0	57,0	120,8	13	30	64	43	2,4	0,7	0,4
CA4	O	114,0	23,6	32,6	63,6	21	29	56	50	1,4	0,9	0,5
CD1	O	116,0	6,9	24,0	62,0	6	21	53	27	3,5	0,5	0,3
CD6	O	118,0	5,7	27,6	64,6	5	23	55	28	4,8	0,5	0,3
IB6	O	169,0	10,3	58,4	93,8	6	35	56	41	5,7	0,7	0,4
LS1	O	118,2	18,4	14,6	108,4	16	12	92	28	0,8	0,3	0,3
MB9	O	116,0	24,4	34,6	52,8	21	30	46	51	1,4	1,1	0,5
P1	O	104,9	2,8	1,4	62,8	3	1	60	4	0,5	0,1	0,0
PR3	O	228,0	35,8	51,3	132,5	16	23	58	39	1,4	0,7	0,4
RJ2	O1	170,4	27,0	20,6	65,3	16	12	38	28	0,8	0,7	0,3
RJ2	O2	98,6	18,7	6,0	26,0	19	6	26	25	0,3	1,0	0,3
RS2	O	81,6	9,4	16,3	28,9	12	20	35	32	1,7	0,9	0,3
RS3	O	108,8	15,3	10,8	60,8	14	10	56	24	0,7	0,4	0,2
Média		133,3	17,1	27,3	72,5	13	19	53	32	2,0	0,7	0,3
Desvio-padrão		42,4	9,8	18,8	32,5	6	10	16	13	1,7	0,3	0,1

⁽¹⁾ COT: carbono orgânico total. ⁽²⁾ C-FAF: carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos. ⁽³⁾ C-FAH: carbono orgânico da fração ácidos húmicos. ⁽⁴⁾ C-HUM: carbono orgânico da fração humina. ⁽⁵⁾ FAF; FAH; HUM; e EA (extrato alcalino): percentual de cada fração em relação ao carbono orgânico total.

Quadro 3. Características gerais, morfológicas e químicas dos horizontes H históricos

Perfil	Horiz.	Prof.	Localização	Ambiente	COT ⁽⁴⁾	pH H ₂ O	SB ⁽⁵⁾	H ⁺ ⁽⁶⁾	CTC ⁽⁷⁾	Al ³⁺ ⁽⁸⁾	V ⁽⁹⁾
		cm			g kg ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹				%
AE19	H	0–20	Bonito/MS	INT ⁽¹⁾	88,3	7,1	27,91	3,3	31,21	0,0	89
AL1	Hop1	0–27	Jequiá da Praia/AL	BLT ⁽²⁾	298,8	4,4	3,00	11,3	14,90	0,6	20
AL2	Hdopj	0–23	Coruripe/Al	BLT	522,3	3,2	2,54	34,0	42,52	6,0	6
BA2	Hdj	0–15	Ituberá/BA	BLT	385,0	3,4	9,50	75,6	88,30	3,2	11
BA2	Hdoj1	15–32	Ituberá/BA	BLT	417,6	3,2	4,30	64,1	72,20	3,8	6
BA3	Hdopj1	0–14	Trancoso/BA	BLT	318,0	3,6	12,30	43,3	57,20	1,6	22
DF1	Hd1	0–26	GuaraII/DF	INT	145,8	5,9	21,05	12,2	33,26	0,0	63
DF1	Hd2	26–48	GuaraII/DF	INT	167,6	5,4	5,92	28,8	34,96	0,2	17
ES1	Hdp1	0–10	Mimoso do Sul/ES	INT	234,7	4,0	2,80	20,5	24,10	0,8	12
MA	Hj	0–8	São Luís/MA	BLT	82,4	4,5	79,00	10,3	89,80	0,5	88
MG2	Hdo1	0–20	Coronel Pacheco/MG	INT	114,3	5,1	2,08	11,9	15,28	1,3	14
MS2	Hdo1	0–40	Porto Morumbi/MS	INT	182,4	4,4	3,51	22,8	27,93	1,6	13
MS2	Hd	150–180	Eldorado/MS	INT	147,0	4,3	6,21	32,3	40,70	2,2	15
P5	H	0–30	Bodoquena/MS	INT	132,0	8,3	38,10	0,0	38,10	0,0	100
PR2	Hdp1	0–20	Tijucas do Sul/PR	INT	224,8	4,4	9,40	34,1	44,20	0,7	21
PR2	Hdp2	20–55	Tijucas do Sul/PR	INT	263,9	4,1	5,60	58,7	68,80	4,5	8
RJ	H	0–16	Rio das Ostras/RJ	BLNT ⁽³⁾	121,6	6,4	22,56	11,1	33,66	0,0	67
RJ3	Hdp	0–25	São J.Boa Morte/RJ	INT	349,5	4,8	23,20	23,2	48,78	2,4	48
RJ3	Hdo1	25–45	São J.Boa Morte/RJ	INT	375,0	5,3	27,77	18,9	47,74	1,1	58
RJ5	Ho1	0–10	Rio de Janeiro/RJ	BLNT	317,0	3,2	52,50	41,9	100,80	6,5	52
RS1	Hdp	0–10	Cambará do Sul/RS	INT	109,8	5,4	7,70	38,1	47,18	1,4	16
RS4	Hpj	0–16	Viamão/RS	BLT	470,0	3,0	8,00	83,6	97,10	5,5	8
RS5	Hdpj	0–35	Viamão/RS	BLT	541,1	3,7	21,90	52,4	74,90	0,6	29
RS5	Hdj	35–46	Viamão/RS	BLT	414,9	3,5	10,20	45,0	57,40	2,2	18
SC1	H1	0–17	Gravatal/SC	BLNT	277,2	4,5	17,00	19,1	36,44	0,3	47
SC1	H2	17–67	Gravatal/SC	BLNT	445,7	4,6	23,30	15,8	39,68	0,6	59
SC2	Hdoj1	0–20	Gov. Celso Portela/SC	BLT	567,2	3,6	6,90	47,5	56,60	2,2	12
SC2	Hdoj2	20–100	Gov. Celso Portela/SC	BLT	638,6	3,3	7,90	42,1	52,10	2,1	15
SP1	Hp1	0–12	Taubaté/SP	INT	231,0	5,2	3,15	57,8	61,40	0,5	5
SP1	Hp2	12–45	Taubaté/SP	INT	186,2	5,1	1,51	41,5	43,26	0,3	3

⁽¹⁾ INT: Interior/Não Tiomórfico. ⁽²⁾ BLT: Baixada Litorânea/Tiomórfico. ⁽³⁾ BLNT: Baixada Litorânea/Não Tiomórfico. ⁽⁴⁾ COT: carbono orgânico total. ⁽⁵⁾ SB: soma de bases. ⁽⁶⁾ H⁺: hidrogênio trocável. ⁽⁷⁾ CTC: capacidade de troca de cátions. ⁽⁸⁾ Al³⁺: alumínio trocável. ⁽⁹⁾ V %: saturação por bases.

Correlações negativas foram verificadas entre o COT, C-FAH e C-HUM com pH (-0,69, -0,65 e -0,59, respectivamente) e positivas entre o COT e C-HUM com Al³⁺ (0,50), além do C-FAH com H⁺ (0,67). Correlação negativa dessas mesmas frações com pH e do C-FAH com H⁺ foi observada por Valladares et al. (2007). Essas observações demonstram a influência das frações húmicas na dinâmica da acidez potencial e ativa. Os grupos funcionais COOH e OH dissociam-se a valores de pH 3,0, liberando o H⁺ para a solução (Carey & Sundberg, 1990), que vão contribuir na acidez potencial e na capacidade de retenção de cátions polivalentes (Sposito, 1989; Stevenson, 1994; Canellas et al., 2008).

Horizontes A chernozêmicos

Nestes horizontes também se observou grande variação dos teores de COT, com valores de 3,7 a 67,8 g kg⁻¹, sendo em 25 horizontes maiores que 20 g kg⁻¹ e com maiores teores nos horizontes superficiais (Quadro 5). Estes resultados são indicativos da alta estabilidade entre a matéria orgânica e a matriz mineral do solo, proporcionada

pelos argilas 2:1 e os íons Ca e, ou, Mg (Kononova, 1966; Theng, 1979; Duchaufour, 1983).

Diversos trabalhos têm destacado a variabilidade nos teores de COT de solos com A chernozêmico, entre eles: Volkoff & Cerri (1980), na região semiárida do Rio Grande do Norte; Miranda & Ferreira (1999), na região da zona da mata de Pernambuco; Benites et al. (2000), na região sul do Brasil; e Melo (2002), em Roraima, com teores entre 6,5 e 22,8 g kg⁻¹. Na região de Patos de Minas, Ker et al. (2005) observaram valores entre 8,1 e 55,1 g kg⁻¹.

Os teores de C orgânico das frações húmicas apresentaram alta variação, sendo o C-FAF de 0,6 a 3,9 g kg⁻¹, o C-FAH, de 0,1 a 8,2 g kg⁻¹, e o C-HUM, de 2,8 a 41,4 g kg⁻¹, destacando o predomínio absoluto da humina (em média 71 % do COT) e com pouca variação entre os valores quantificados (Quadro 6). Esse padrão de distribuição das frações é indicativo da alta estabilidade/interação da humina, e a baixa variação entre os teores sugere a semelhança entre os pedoambientes, possibilitando assim o uso da classificação dos solos estabelecida pelo SiBCS

Quadro 4. Distribuição do carbono orgânico total, carbono orgânico das frações húmicas e relações nos horizontes H históricos (n = 30)

Perfil	Horiz.	COT ⁽¹⁾	C-FAF	C-FAH	C-HUM	FAF	FAH	HUM	EA	C-FAH/ C-FAF	C-EA/ C-HUM	C-EA/ COT
		g kg ⁻¹	%									
AE19	H	88,3	3,8	8,3	66,3	4	9	75	13	2,2	0,2	0,1
AL1	Hop1	298,8	30,5	65,5	149,5	10	22	50	32	2,1	0,6	0,3
AL2	Hdopj	522,3	16,8	98,0	236,7	3	19	45	22	5,8	0,5	0,2
BA2	Hdj	385,0	12,1	98,0	279,3	3	25	73	28	8,1	0,4	0,3
BA2	Hdoj1	417,6	12,4	159,2	151,1	3	38	36	41	12,8	1,1	0,4
BA3	Hdopj1	318,0	22,6	79,0	156,0	7	25	49	32	3,5	0,7	0,3
DF1	Hd1	145,8	14,4	92,8	26,6	10	64	18	74	6,4	4,0	0,7
DF1	Hd2	167,6	12,1	57,2	44,8	7	34	27	41	4,7	1,5	0,4
ES1	Hdp1	234,7	23,9	61,1	77,3	10	26	33	36	2,6	1,1	0,4
MA	Hj	82,4	2,7	10,8	38,1	3	13	46	16	4,0	0,4	0,2
MG2	Hdo1	114,3	11,7	22,4	71,9	10	20	63	30	1,9	0,5	0,3
MS2	Hdo1	182,4	14,8	57,2	39,3	8	31	22	39	3,9	1,8	0,4
MS2	Hd	147,0	6,9	75,3	38,5	5	51	26	56	10,9	2,1	0,6
P5	H	132,0	4,0	3,0	85,8	3	2	65	5	0,8	0,1	0,1
PR2	Hdp1	224,8	10,5	68,1	46,4	5	30	21	35	6,5	1,7	0,3
PR2	Hdp2	263,9	12,1	117,2	63,6	5	44	24	49	9,7	2,0	0,5
RJ	H	121,6	8,9	30,2	47,6	7	25	39	32	3,4	0,8	0,3
RJ3	Hdp	349,5	21,8	90,1	105,0	6	26	30	32	4,1	1,1	0,3
RJ3	Hdo1	375,0	29,2	91,5	106,2	8	24	28	32	3,1	1,1	0,3
RJ5	Ho1	317,0	14,3	49,6	145,2	5	16	46	21	3,5	0,4	0,2
RS1	Hdp	109,8	10,9	33,2	44,3	10	30	40	40	3,0	1,0	0,4
RS4	Hpj	470,0	12,9	129,0	263,6	3	27	56	30	10,0	0,5	0,3
RS5	Hdpj	541,1	12,7	127,6	216,3	2	24	40	26	10,0	0,6	0,3
RS5	Hdj	414,9	13,2	115,5	139,2	3	28	34	31	8,8	0,9	0,3
SC1	H1	277,2	32,7	78,0	95,1	12	28	34	40	2,4	1,2	0,4
SC1	H2	445,7	26,0	108,5	224,5	6	24	50	30	4,2	0,6	0,3
SC2	Hdoj1	567,2	27,3	164,9	154,4	5	29	27	34	6,0	1,2	0,3
SC2	Hdoj2	638,6	13,5	183,0	222,6	2	29	35	31	13,6	0,9	0,3
SP1	Hp1	231,0	23,3	104,6	40,6	10	45	18	55	4,5	3,2	0,6
SP1	Hp2	186,	15,1	104,4	16,5	8	56	9	64	6,9	7,2	0,6
Média		292,3	15,8	82,8	113,1	6	29	39	35	5,6	1,3	0,3
Desvio-padrão		157,1	8,0	45,8	77,5	3	13	16	14	3,4	1,4	0,1

⁽¹⁾ COT: carbono orgânico total. ⁽²⁾ C-FAF: carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos. ⁽³⁾ C-FAH: carbono orgânico da fração ácidos húmicos. ⁽⁴⁾ C-HUM: carbono orgânico da fração húmica. ⁽⁵⁾ FAF; FAH; HUM; e EA (extrato alcalino): percentual de cada fração em relação ao carbono orgânico total.

(Embrapa, 2006). Padrão semelhante foi observado por Benites et al. (2000) e Volkoff & Cerri (1980), com valores da húmica em torno de 50 %; Melo (2002) verificou valores médios de 58 %.

Para a relação C-FAH/C-FAF, os valores variaram de 0,1 a 3,5, com tendência de predomínio dos valores menores que 1,0, enquanto a relação C-EA/C-HUM apresentou a menor amplitude dentre os horizontes estudados: entre 0,1 e 0,5 (Quadro 6). Padrão semelhante para ambas as relações foi observado por Melo (2002). Já Benites et al. (2000) verificaram valores semelhantes para a relação C-FAH/C-FAF e em torno de 1,0 para a relação C-EA/C-HUM. Os baixos valores da relação C-EA/C-HUM indicam a alta estabilidade entre a matéria orgânica e a matriz mineral destes solos, proporcionada pela interação entre as argilas 2:1 e os íons Ca e, ou, Mg com os grupos funcionais COOH e OH ionizados, principalmente, da matéria orgânica (Kononova, 1966; Theng, 1979; Duchaufour, 1983; Sposito, 1989; Stevenson, 1994; Corrêa et al., 2003; Canellas et al., 2008).

Na avaliação das correlações, destacam-se as positivas entre o COT e C HUM com a SB (0,50) e CTC (0,57). Em diversos solos do sul do Brasil, Benites et al. (2000) observaram correlações positivas entre as frações húmicas e o H⁺. Nesses solos, assim como anteriormente, observa-se influência das frações húmicas na capacidade de retenção de cátions polivalentes (Sposito, 1989; Stevenson, 1994; Canellas et al., 2008).

Horizontes A húmicos

Estes horizontes apresentaram, entre os solos minerais, os maiores teores de COT, variando de 8,2 a 75,0 g kg⁻¹, sendo em 31 horizontes maiores que 20 g kg⁻¹ e em 22 maiores que 30 g kg⁻¹. Assim como nos horizontes A chernozêmicos, os maiores teores de COT foram verificados nos horizontes superficiais (Quadro 7).

Padrão semelhante foi observado em solos sob vegetação rupestre de altitude na Serra do Espinhaço e da Mantiqueira, com teores entre 15,0 e 71,0 g kg⁻¹ (Benites, 2002; Dias et al., 2003). Para a região Sul

Quadro 5. Características gerais, morfológicas, químicas e físicas dos horizontes A chernozêmicos

Perfil	Horiz.	Prof.	Localização	COT ⁽¹⁾	pH H ₂ O	SB ⁽²⁾	H ⁺ ⁽³⁾	CTC ⁽⁴⁾	V ⁽⁵⁾	Areia	Silte	Argila
				g kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			%	g kg ⁻¹			
AE15	A	0-35	Bonito/MS	30,7	7,4	17,24	3,0	20,21	85	275	333	392
AE20	A	0-23	Bonito/MS	30,1	6,7	14,24	4,1	18,36	78	190	604	206
AE23	A	0-40	Bonito/MS	44,8	6,4	13,31	5,9	25,26	53	240	487	273
AE125	A	0-20	Bonito/MS	44,8	7,0	24,44	2,6	27,08	90	210	428	362
AE133	A	0-30	Bonito/MS	44,8	7,0	17,91	2,5	20,39	88	359	435	206
AE135	A	0-20	Bonito/MS	43,5	6,7	17,99	5,8	23,77	76	192	486	322
AE143	A	0-20	Bonito/MS	30,2	6,2	11,18	4,3	15,47	72	389	420	191
AE147	A	0-30	Bonito/MS	30,7	6,2	11,83	2,3	14,14	84	610	265	125
LS1	A2	15-40	Lindóia do Sul/SC	28,2	6,6	20,46	3,1	23,56	87	267	424	309
LS2	A1	0-15	Lindóia do Sul/SC	27,6	6,4	9,83	2,5	12,33	80	90	519	391
LS2	A2	15-35	Lindóia do Sul/SC	16,2	6,3	7,02	3,1	10,12	69	53	490	457
MS1	A1	0-25	Ladário/MS	44,8	8,4	24,10	0,0	24,10	100	250	300	450
MS1	A2	25-50	Ladário/MS	34,5	7,3	21,20	0,0	21,20	100	261	223	516
P2	A1	0-8	Bodoquena/MS	67,8	7,3	31,11	2,8	33,91	92	219	489	292
P2	A2	8-26	Bodoquena/MS	43,2	7,3	28,46	1,6	30,06	95	242	454	304
P2"	A1	0-10	Bodoquena/MS	66,0	7,4	36,57	3,3	39,87	92	119	490	391
P2"	A2	10-23	Bodoquena/MS	52,6	7,2	33,05	4,1	37,15	89	137	444	419
P2"	AB	23-32	Bodoquena/MS	38,7	7,4	29,31	2,8	32,11	91	152	354	494
P3	A1	0-14	Bodoquena/MS	45,8	7,3	27,20	2,8	30,00	91	184	406	410
P3	A2	14-24	Bodoquena/MS	30,0	7,3	20,95	1,6	22,55	93	208	385	407
P3	AB	24-32	Bodoquena/MS	19,7	7,3	20,24	1,3	21,54	94	170	323	507
P4	A	0-27/33	Bodoquena/MS	51,0	8,3	29,31	0,0	29,31	100	117	475	408
P07	A1	0-18	Apodi/RN	15,6	8,4	38,06	0,0	38,06	100	150	280	570
P07	A2	18-33	Apodi/RN	7,2	8,4	39,48	0,0	39,48	100	140	310	550
P22	Ap	0-27	Mandaquari/PR	23,2	6,2	32,31	4,7	37,01	87	185	428	387
P43	A	0-30	Ladário/MS	21,1	8,3	29,10	0,5	29,60	98	87	552	361
PF1	Ap	0-30	Italva/RJ	14,4	7,4	10,18	0,8	11,01	93	673	127	200
PF2	Ap	0-17	Italva/RJ	13,6	7,2	13,31	0,8	14,14	94	516	256	228
PF2	AB	17-25	Italva/RJ	7,2	7,6	13,07	0,5	13,57	96	599	106	295
PF3	Ap	0-15	Cordeiro/RJ	12,0	6,9	3,39	1,3	4,71	72	674	129	197
PF3	A2	15-27	Cordeiro/RJ	16,2	6,9	10,82	3,8	14,62	74	658	190	152
PF6	Ap	0-40	Pinheiral/RJ	16,3	6,7	15,54	3,3	18,84	82	462	334	204
PF6	A2	40-60	Pinheiral/RJ	10,8	6,6	5,01	2,1	7,16	70	485	260	255
PF7	Ap	0-25	Itaperuna/RJ	21,1	7,5	13,78	0,8	14,61	94	514	453	33
PT70	A1	0-7	Corumbá/MS	12,4	5,7	6,01	2,0	8,01	75	849	90	61
PT70	A2	7-27	Corumbá/MS	3,7	6,3	3,52	1,2	4,72	75	861	58	81
RJ	A	0-13	Pinheiral/RJ	18,4	6,6	14,70	1,0	15,70	94	421	239	340
RJ1	Ap	0-19	Euclidelândia/RJ	16,5	8,2	10,08	0,1	10,18	99	488	241	271
RJ2	Ap	0-32	Italva/RJ	17,7	7,3	12,81	1,3	14,11	91	608	162	230
RS1	A	0-80	Bagé/RS	14,9	6,1	26,01	3,7	29,71	88	93	397	510
SC2	Ap	0-80	Ipira/SC	28,9	7,2	20,60	2,1	22,70	91	104	597	299
SC2	A2	80-160	Ipira/SC	22,8	6,0	10,95	6,0	16,95	65	10	496	494

⁽¹⁾ COT: carbono orgânico total. ⁽²⁾ SB: soma de bases. ⁽³⁾ H⁺: hidrogênio trocável. ⁽⁴⁾ CTC: capacidade de troca de cátions. ⁽⁵⁾ V %: saturação por bases.

do Brasil foram verificados menores teores de COT, com valores entre 5,3 e 39,3 g kg⁻¹ (Volkoff et al., 1984; Benites et al., 2000; Dick et al., 2005; Dalmolin et al., 2005) para solos com horizonte A húmico; na região Sudeste os valores estiveram entre 16,8 e 24,6 g kg⁻¹ (Ker et al., 2005).

Os teores de C orgânico das frações húmicas apresentaram ampla variação, com o C-FAF de 1,5 a 17,8 g kg⁻¹, enquanto o C-FAH variou de 0,1 a 39,3 g kg⁻¹ e o C-HUM, de 2,5 a 44,4 g kg⁻¹, tendo o predomínio da humina (em média, 47 %), seguida pelos ácidos húmicos (Quadro 8). Padrão semelhante foi observado por Benites (1998, 2002), com o predomínio

da humina, seguida pelos ácidos húmicos. Diferindo desse padrão, Volkoff et al. (1984) e Benites et al. (2000) identificaram o predomínio da humina, seguida pelos ácidos fúlvicos.

Para a relação C-FAH/C-FAF verificaram-se valores entre 0,1 e 9,4, havendo distribuição equitativa entre valores menores e maiores que 1,0. A relação C-EA/C-HUM esteve entre 0,3 e 6,6, sendo 29 horizontes com valores menores que 1,0 (Quadro 8). Benites (1998) e Benites et al. (2000) observaram padrão semelhante ao deste estudo, enquanto Benites (2002) observou maioria dos valores maiores que 2,0 para a relação C-FAH/C-FAF e maiores que 1,0 para a

Quadro 6. Distribuição do carbono orgânico total, carbono orgânico das frações húmicas e relações nos horizontes A chernozêmicos (n = 42)

Perfil	Horiz.	COT ⁽¹⁾	C-FAF	C-FAH	C-HUM	FAF	FAH	HUM	EA	C-FAH/ C-FAF	C-EA/ C-HUM	C-EA/ COT
		g kg ⁻¹				%						
AE15	A	30,7	2,1	2,5	21,0	7	8	68	15	1,2	0,2	0,1
AE20	A	30,1	2,9	3,9	19,6	10	13	65	23	1,3	0,3	0,2
AE23	A	44,8	1,6	5,6	36,8	4	13	82	17	3,5	0,2	0,2
AE125	A	44,8	3,9	1,5	31,9	9	3	71	12	0,4	0,2	0,1
AE133	A	44,8	3,0	3,9	36,4	7	9	81	16	1,3	0,2	0,2
AE135	A	43,5	2,6	4,1	31,9	6	9	73	15	1,6	0,2	0,2
AE143	A	30,2	1,9	3,8	21,0	6	13	70	19	2,0	0,3	0,2
AE147	A	30,7	2,3	2,6	19,9	7	8	65	15	1,1	0,2	0,2
LS1	A2	28,2	3,7	3,5	18,6	13	12	66	25	0,9	0,4	0,3
LS2	A1	27,6	3,0	2,2	15,6	11	8	57	19	0,7	0,3	0,2
LS2	A2	16,2	2,7	1,8	9,8	17	11	60	28	0,7	0,5	0,3
MS1	A1	44,8	2,5	2,2	26,7	6	5	60	11	0,9	0,2	0,1
MS1	A2	34,5	1,5	2,1	24,3	4	6	70	10	1,4	0,1	0,1
P2	A1	67,8	3,9	8,2	41,4	6	12	61	18	2,1	0,3	0,2
P2	A2	43,2	2,7	2,1	25,6	6	5	59	11	0,8	0,2	0,1
P2"	A1	66,0	2,0	3,3	37,8	3	5	57	8	1,7	0,1	0,1
P2"	A2	52,6	1,8	1,7	31,2	3	3	59	6	0,9	0,1	0,1
P2"	AB	38,7	1,4	1,0	25,4	4	3	66	7	0,7	0,1	0,1
P3	A1	45,8	2,2	3,8	37,8	5	8	83	13	1,7	0,2	0,1
P3	A2	30,0	1,6	1,0	23,4	5	3	78	8	0,6	0,1	0,1
P3	AB	19,7	1,5	0,7	15,8	8	4	80	12	0,5	0,1	0,1
P4	A	51,0	2,2	1,2	37,8	4	2	74	6	0,5	0,1	0,1
P07	A1	15,6	2,5	1,6	12,3	16	10	79	26	0,6	0,3	0,3
P07	A2	7,2	0,6	0,1	7,1	8	1	99	9	0,2	0,1	0,1
P22	Ap	23,2	0,9	0,4	13,8	4	2	59	6	0,4	0,1	0,1
P43	A	21,1	0,9	0,6	17,8	4	3	84	7	0,7	0,1	0,1
PF1	Ap	14,4	1,1	0,5	11,7	8	3	81	11	0,5	0,1	0,1
PF2	Ap	13,6	1,0	0,1	9,9	7	1	73	8	0,1	0,1	0,1
PF2	AB	7,2	0,6	0,1	6,0	8	1	83	9	0,2	0,1	0,1
PF3	Ap	12,0	1,3	1,2	7,4	11	10	62	21	0,9	0,3	0,2
PF3	A2	16,2	1,4	0,7	12,0	9	4	74	13	0,5	0,2	0,1
PF6	Ap	16,3	2,9	2,1	11,8	18	13	72	31	0,7	0,4	0,3
PF6	A2	10,8	1,7	0,7	8,0	16	6	74	22	0,4	0,3	0,2
PF7	Ap	21,1	1,8	0,9	18,8	9	4	89	13	0,5	0,1	0,1
PT70	A1	12,4	1,8	1,9	9,3	15	15	75	30	1,1	0,4	0,3
PT70	A2	3,7	0,7	0,7	2,8	19	19	76	38	1,0	0,5	0,4
RJ	A	18,4	2,8	2,7	12,0	15	15	65	30	1,0	0,5	0,3
RJ1	Ap	16,5	1,2	0,5	10,0	7	3	61	10	0,4	0,2	0,1
RJ2	Ap	17,7	2,3	1,3	10,5	13	7	59	20	0,6	0,3	0,2
RS1	A	14,9	1,9	0,1	10,7	13	1	72	14	0,1	0,2	0,1
SC2	Ap	28,9	3,8	5,0	21,2	13	17	73	30	1,3	0,4	0,3
SC2	A2	22,8	2,8	2,8	13,3	12	12	58	24	1,0	0,4	0,2
Média		28,1	2,0	2,1	19,4	9	7	71	16	0,9	0,2	0,2
Desvio-padrão		15,8	0,9	1,7	10,5	4	5	10	8	0,6	0,1	0,1

⁽¹⁾ COT: carbono orgânico total. ⁽²⁾ C-FAF: carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos. ⁽³⁾ C-FAH: carbono orgânico da fração ácidos húmicos. ⁽⁴⁾ C-HUM: carbono orgânico da fração humina. ⁽⁵⁾ FAF; AH; HUM. ⁽⁶⁾ EA (extrato alcalino): percentual de cada fração em relação ao carbono orgânico total.

relação C-EA/C-HUM. Os baixos valores da relação C-EA/C-HUM, assim como no A chernozêmico, também indicam a alta estabilidade entre a matéria orgânica e a matriz mineral, proporcionada pela interação entre os minerais de argila e cátions polivalentes com os grupos funcionais COOH e OH ionizados, principalmente, da matéria orgânica (Sposito, 1989; Canellas et al., 2008).

Nestes horizontes, foram observadas correlações positivas entre o COT e C-HUM com H⁺ (0,66 e 0,57), CTC (0,72 e 0,66) e Al³⁺ (0,42 a 0,48). Em solos do Cerrado, Mendonça & Rowell (1996) destacaram a importância das frações húmicas na CTC dos solos, assim como Fontana et al. (2001a, 2005) nas camadas superficiais de solos de Tabuleiro para os valores da SB e CTC. Correlações positivas e com maiores valores

Quadro 7. Características gerais, morfológicas, químicas e físicas dos horizontes A húmicos

Perfil	Horiz.	Prof.	Localização	COT ⁽¹⁾	pH	H ₂ O	SB ⁽²⁾	H ⁺ ⁽³⁾	CTC ⁽⁴⁾	Al ³⁺ ⁽⁵⁾	V ⁽⁶⁾	Areia	Silte	Argila
		cm		g kg ⁻¹				cmol _c kg ⁻¹			%		g kg ⁻¹	
AM	A	0–25	Municoré/AM	10,0	4,4	0,96	7,1	8,94	0,9	11	721	60	219	
BA1	A1	0–35	Camaçari/BA	63,5	3,7	3,80	73,1	80,00	3,1	5	631	301	68	
BA1	A2	35–40	Camaçari/BA	27,9	5,3	1,60	10,1	13,00	1,3	12	737	78	185	
CA2	AB	28–38	Alto Caparaó/MG	50,0	5,2	0,20	15,6	18,00	2,2	1	760	110	130	
ES1	Ap	0–10	Linhares/ES	31,7	6,1	3,30	6,6	10,20	0,3	32	759	60	181	
ES1	AC	10–25	Linhares/ES	15,6	6,1	1,60	3,4	5,60	0,6	29	885	40	75	
IC1	A	–	Ouro Preto/MG	29,2	4,8	0,87	7,7	9,17	0,6	9	799	125	76	
MB4	A	–	Bocaina de Minas/MG	24,8	4,4	0,55	12,1	14,25	1,6	4	815	42	143	
MG	A2	18–43	Candeias/MG	22,3	4,2	0,27	9,7	11,57	1,6	2	399	84	517	
P9	A	38–60	Valença/RJ	53,7	4,8	0,50	13,2	14,50	0,8	3	441	420	139	
P9	AB	60–75	Valença/RJ	21,0	4,9	0,40	7,5	8,50	0,6	5	502	327	171	
P12	Ap1	–	Campos do Jordão/SP	22,3	5,3	2,13	6,6	9,23	0,5	23	416	107	477	
P12	Ap2	–	Campos do Jordão/SP	15,8	5,2	1,00	6,7	8,80	1,1	11	368	141	491	
P25	Ap1	–	Campos do Jordão/SP	9,6	4,9	0,83	4,3	6,63	1,5	13	288	140	572	
P25	Ab1	–	Campos do Jordão/SP	15,0	4,5	0,98	7,2	9,88	1,7	10	307	107	586	
PA	A1	0–15	Igarape Mirim/PA	31,0	5,2	5,46	7,1	12,76	0,2	43	30	690	280	
PA	AC	15–39	Igarape Mirim/PA	11,6	5,3	4,62	6,0	11,12	0,5	42	20	650	330	
PF5	A1	0–20	Nova Friburgo/RJ	32,3	4,4	0,80	13,5	18,50	4,2	4	350	160	490	
PF5	A2	20–40	Nova Friburgo/RJ	25,9	4,5	1,60	13,5	18,60	3,5	9	380	180	440	
PR	Ap	0–25	Castro/PR	38,5	5,7	13,11	11,7	24,91	0,1	53	296	221	483	
PR	A2	25–100	Castro/PR	37,4	4,9	2,39	18,6	23,29	2,3	10	415	185	400	
PR1	A1	0–14	Palmas/PR	56,3	4,5	1,81	21,3	29,31	6,2	6	55	376	569	
PR1	A2	14–45	Palmas/PR	32,4	4,6	0,67	15,5	21,37	5,2	3	65	327	608	
RJ	A	0–24	Rio das Ostras/RJ	52,5	5,8	12,29	8,3	20,59	0,0	60	396	317	287	
RJ1	Ab2	130–185	Cantagalo/RJ	8,2	5,5	3,01	3,4	6,41	0,0	47	697	102	201	
RJ2	A1	0–25	Itatiaia/RJ	66,2	5,0	1,52	17,3	21,16	2,3	7	480	229	291	
RJ2	A2	25–45	Itatiaia/RJ	48,5	5,6	1,26	12,6	15,29	1,4	8	590	152	258	
RS	A1	0–15	Gramado/RS	75,0	4,8	8,50	24,2	34,90	2,2	24	62	539	399	
RS	A2	15–30	Gramado/RS	63,1	4,7	5,20	28,3	38,50	5,0	14	55	425	520	
RS	A3	30–50	Gramado/RS	40,7	4,8	3,80	14,8	24,10	5,5	16	73	330	597	
RS1	A	0–47	Canela/RS	55,5	4,1	1,00	21,0	31,00	9,0	3	120	370	510	
RS2	A	25–55	Cambara do Sul/RS	48,2	4,1	1,07	23,4	28,97	4,5	4	376	188	436	
RS3	A2	15/18–30/34	Canela/RS	51,3	4,8	0,50	35,0	42,60	7,1	1	580	150	270	
SB4	A	0–16	Fervedouro/MG	47,0	4,2	1,12	16,4	21,22	3,7	5	680	230	90	
SP	A1	0–13	Ubatuba/SP	34,5	4,2	0,72	9,0	10,95	1,2	7	680	130	190	
SP	A2	13–27	Ubatuba/SP	26,4	4,7	0,41	8,8	9,81	0,6	4	620	140	240	
SP1	Ap	8–49	Taubaté/SP	51,0	3,6	0,57	24,9	28,77	3,3	2	507	255	238	
SP2	A1	0–20	Monte A.	10,5	4,2	0,28	6,2	7,48	1,0	4	681	55	264	
SC1	A	0–170	Lages/SC	25,1	4,6	2,27	11,8	18,17	4,1	12	179	373	448	

⁽¹⁾ COT: carbono orgânico total. ⁽²⁾ SB: soma de bases. ⁽³⁾ H⁺: hidrogênio trocável. ⁽⁴⁾ CTC: capacidade de troca de cátions. ⁽⁵⁾ Al³⁺: alumínio trocável. ⁽⁶⁾ V %: saturação por bases.

entre as frações húmicas e o H⁺ foram observadas por Benites et al. (2000) para diversos solos. Em horizontes superficiais de Latossolos, Fontana et al. (2008a) verificaram correlações positivas e maiores que 0,75, entre o COT, C-HUM e C-FAH com a SB e CTC, além do C-FAF com o H⁺ (0,61).

Horizontes B espódicos

Nestes horizontes subsuperficiais com acúmulo iluvial de matéria orgânica, os teores de COT apresentaram ampla variação, com valores entre 5,1 e 40,1 g kg⁻¹, sendo em 33 horizontes maiores que 10,0 g kg⁻¹ (Quadro 9). Essa amplitude também foi observada nos trabalhos de Gomes et al. (1998a), em área de restinga do norte do Rio de Janeiro, e Gomes

et al. (2007), na Ilha do Cardoso (SP), com valores variando entre 2,5 e 69,4 g kg⁻¹, sendo predominantes os menores que 20,0 g kg⁻¹. Sob vegetação rupestre de altitude na Serra do Espinhaço e na Serra da Mantiqueira, Benites (1998, 2002), Schaefer et al. (2002) e Dias et al. (2003) observaram teores entre 2,3 e 131,0 g kg⁻¹, sendo esses valores, em sua maioria, menores que 25,0 g kg⁻¹.

Em outros Estados brasileiros, como nos solos da região de Manaus, Camargo & Rodrigues (1979) observaram teores de COT entre 11,7 e 22,7 g kg⁻¹, enquanto Mafra et al. (2007) encontraram teores entre 11,0 e 43,0 g kg⁻¹ em solos na parte superior do Rio Negro. Em solos de Tabuleiro na região norte do Espírito Santo e sul da Bahia foram observados teores

Quadro 8. Distribuição do carbono orgânico total, carbono orgânico das frações húmicas e relações nos horizontes A húmicos (n = 39)

Perfil	Horiz.	COT ⁽¹⁾	g kg ⁻¹				%			C-FAH/ C-FAF	C-EA/ C-HUM	C-EA/COT
			C-FAF	C-FAH	C-HUM	FAF	FAH	HUM	EA			
AM	A	10,0	2,7	1,7	7,7	27	17	77	44	0,6	0,6	0,4
BA1	A1	63,5	4,7	12,5	31,0	7	20	49	27	2,7	0,6	0,3
BA1	A2	27,9	2,6	6,6	12,1	9	24	43	33	2,5	0,8	0,3
CA2	AB	50,0	11,2	10,2	16,2	22	20	32	42	0,9	1,3	0,4
ES1	Ap	31,7	4,9	7,8	19,8	15	24	62	39	1,6	0,6	0,4
ES1	AC	15,6	1,5	4,6	8,5	10	29	54	39	3,1	0,7	0,4
IC1	A	29,2	3,1	8,0	14,8	11	27	51	38	2,6	0,8	0,4
MB4	A	24,8	4,3	9,5	10,8	17	38	44	55	2,2	1,3	0,6
MG	A2	22,3	6,3	4,8	11,1	28	22	50	50	0,8	1,0	0,5
P9	A	53,7	7,2	10	24,4	13	19	45	32	1,4	0,7	0,3
P9	AB	21,0	5,6	5,0	11,0	27	24	52	51	0,9	1,0	0,5
P12	Ap1	22,3	3,3	3,2	11,9	15	14	53	29	1,0	0,5	0,3
P12	Ap2	15,8	4,1	2,2	10,0	26	14	63	40	0,5	0,6	0,4
P25	Ap1	9,6	1,5	0,1	5,8	16	1	60	17	0,1	0,3	0,2
P25	Ab1	15,0	2,4	2,2	7,1	16	15	47	31	0,9	0,6	0,3
PA	A1	31,0	3,8	3,2	18	12	10	58	22	0,8	0,4	0,2
PA	AC	11,6	2,7	0,9	5,6	23	8	48	31	0,3	0,6	0,3
PF4	Ap	24,9	2,2	2,6	16,4	9	10	66	19	1,2	0,3	0,2
PF4	AB	16,4	1,9	0,2	9,3	12	1	57	13	0,1	0,2	0,1
PF5	A1	32,3	5,2	4,8	14,5	16	15	45	31	0,9	0,7	0,3
PF5	A2	25,9	4,3	3,2	11,8	17	12	46	29	0,7	0,6	0,3
PR	Ap	38,5	6,0	12,0	19,9	16	31	52	47	2,0	0,9	0,5
PR	A2	37,4	3,8	16,8	9,9	10	45	26	55	4,4	2,1	0,6
PR1	A1	56,3	7,2	14,4	33,0	13	26	59	39	2,0	0,7	0,4
PR1	A2	32,4	5,7	9,2	16,0	18	28	49	46	1,6	0,9	0,5
RJ	A	52,5	4,9	11,8	25,3	9	22	48	31	2,4	0,7	0,3
RJ1	A2	11,8	1,7	2,1	5,0	14	18	42	32	1,2	0,8	0,3
RJ1	Ab2	8,2	1,7	2,0	2,5	21	24	30	45	1,2	1,5	0,5
RJ2	A1	66,2	17,8	22,0	18,4	27	33	28	60	1,2	2,2	0,6
RJ2	A2	48,5	5,3	15,3	10,4	11	32	21	43	2,9	2,0	0,4
RS	A1	75,0	9,0	13,7	44,4	12	18	59	30	1,5	0,5	0,3
RS	A2	63,1	10,9	9,3	27,5	17	15	44	32	0,9	0,7	0,3
RS	A3	40,7	8,2	8,2	13,6	20	20	33	40	1,0	1,2	0,4
RS1	A	55,5	7,2	7,2	29,2	13	13	53	26	1,0	0,5	0,3
RS2	A	48,2	4,6	21,0	13,0	10	44	27	54	4,6	2,0	0,5
RS3	A2	51,3	6,6	5,1	26,0	13	10	51	23	0,8	0,5	0,2
SB4	A	47,0	4,9	10,4	20,2	10	22	43	32	2,1	0,8	0,3
SP	A1	34,5	6,6	4,6	17,2	19	13	50	32	0,7	0,7	0,3
SP	A2	26,4	5,2	3,9	10,5	20	15	40	35	0,8	0,9	0,3
SP1	Ap	51,0	4,2	39,3	6,6	8	77	13	85	9,4	6,6	0,9
SP2	A1	10,5	2,8	1,2	7,9	27	11	75	38	0,4	0,5	0,4
SC1	A	25,1	7,8	2,6	13,0	31	10	52	41	0,3	0,8	0,4
Média		34,2	5,2	8,0	15,4	16	21	48	38	1,6	1,0	0,4
Desvio-padrão		18,0	3,1	7,4	8,7	6	13	13	13	1,6	1,0	0,1

⁽¹⁾ COT: carbono orgânico total. ⁽²⁾ C-FAF: carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos. ⁽³⁾ C-FAH: carbono orgânico da fração ácidos húmicos. ⁽⁴⁾ C-HUM = carbono orgânico da fração húmica. ⁽⁵⁾ FAF, ⁽⁶⁾ FAH. ⁽⁵⁾ HUM. ⁽⁶⁾ EA (extrato alcalino): percentual de cada fração em relação ao carbono orgânico total.

entre 3,9 e 83,0 g kg⁻¹ (Embrapa, 1995) e entre 9,0 e 51,0 g kg⁻¹ (Moreau et al., 2006). Guardando similaridade com os solos do Brasil, foram observados em Ruanda, na África, teores entre 11,2 e 68,2 g kg⁻¹ (van Ranst et al., 1997).

Em virtude das peculiaridades entre os pedoambientes, os teores de C orgânico das frações húmicas também apresentaram ampla variação para estes horizontes. O C-FAF variou de 0,1 a 11,6 g kg⁻¹;

o C-FAH, de 0,6 a 30,0 g kg⁻¹; e o C-HUM, de 0,1 a 11,2 g kg⁻¹. Diferindo dos outros horizontes minerais, verificou-se predomínio das frações alcalinossolúveis: ácidos húmicos, com média de 44 %, e ácidos fúlvicos, com 30 % (Quadro 10).

Distribuição semelhante foi observada em regiões altimontanas por Benites (2002) e Schaefer et al. (2002), com predomínio dos ácidos húmicos, com média em torno de 60 %, seguidos pelos ácidos fúlvicos;

Quadro 9. Características gerais, morfológicas, químicas físicas dos horizontes B espódicos

Horiz.	Prof.	Localização	MO ⁽¹⁾	COT ⁽⁶⁾	pH H ₂ O	SB ⁽⁷⁾	H ⁺⁽⁸⁾	CTC ⁽⁹⁾	Al ³⁺ ⁽¹⁰⁾	V ⁽¹¹⁾	Areia	Silte	Argila
	cm			g kg ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹				%	g kg ⁻¹		
Bh	60–85	Cruzeiro do Sul/AC	SF ⁽²⁾	7,5	4,6	1,55	5,7	8,15	0,9	19	625	272	103
Bh	85–124	Cruzeiro do Sul/AC	SF	7,7	5,3	1,48	6,9	8,38	0,0	18	607	224	169
Bh1	97–130	Cruzeiro do Sul/AC	SF	12,4	4,4	1,48	7,1	10,58	2,0	14	705	239	56
Bh2	130–140	Cruzeiro do Sul/AC	SF	22,7	5,4	1,38	16,6	20,08	2,1	7	658	248	94
Bh3	140–145	Cruzeiro do Sul/AC	SF	20,1	4,6	1,48	13,3	18,88	4,1	8	699	211	90
Bhs	280–300	Prado/BA	SFM ⁽³⁾	17,9	4,9	0,86	18,9	21,66	1,9	4	653	202	145
Bh	20–35	Conc.Mato Dentro/MG	Q ⁽⁴⁾	13,0	4,3	0,32	8,0	9,72	1,4	3	850	90	60
Bh	35–140	Cruzeiro do Sul/AC	SF	13,4	4,5	1,76	11,1	15,76	2,9	11	769	104	127
Bh2	140–175	Cruzeiro do Sul/AC	SF	9,8	5,2	1,65	7,7	10,55	1,2	16	754	89	157
Bhs1	175–105	Cruzeiro do Sul/AC	SF	10,0	4,6	2,73	10,6	16,43	3,1	17	796	60	144
Bhs2	105–130	Cruzeiro do Sul/AC	SF	13,0	4,8	1,49	12,9	17,49	3,1	9	791	45	164
Bhs3	130–195	Cruzeiro do Sul/AC	SF	21,3	4,2	1,66	19,8	26,16	4,7	6	782	82	136
Bhsm	195–250	Cruzeiro do Sul/AC	SF	14,0	5,0	1,75	17,3	20,95	1,9	8	441	496	63
Bhs4	250–320	Cruzeiro do Sul/AC	SF	5,5	5,2	1,97	6,2	9,17	1,0	21	856	44	100
Bh	25–40	Diamantina/MG	Q	5,1	4,1	0,00	2,0	3,80	1,8	0	950	10	40
Bh1	14–50	Linhares/ES	SFM	25,2	5,4	0,78	12,1	14,28	1,4	5	860	20	120
Bh2	50–80	Linhares/ES	SFM	24,0	5,2	0,87	8,4	10,27	1,0	8	880	3	117
Bh1	23–50	Linhares/ES	SFM	17,8	6,2	0,86	7,6	9,16	0,7	9	900	13	87
Bh2	50–80	Linhares/ES	SFM	13,2	5,8	0,80	6,0	7,40	0,6	11	908	3	89
Bhsm1	100–120	Linhares/ES	SFM	12,9	5,1	1,20	9,1	11,40	1,1	11	950	0	50
Bhsm2	120+	Linhares/ES	SFM	8,6	5,3	2,51	6,1	8,91	0,3	28	955	0	45
Bhs	80–100	Vargem Alta/ES	Q	16,1	5,3	0,70	13,0	14,70	1,0	5	701	64	235
Bh	100–88	Cruzeiro do Sul/AC	SF	6,3	5,3	1,92	3,9	5,82	0,0	33	848	54	98
Bh1	88–69	Cruzeiro do Sul/AC	SF	10,0	5,3	2,04	4,8	6,84	0,0	30	802	139	59
Bh2	69–116	Cruzeiro do Sul/AC	SF	8,0	5,8	2,44	3,6	6,04	0,0	40	822	111	67
Bh3	116–221	Cruzeiro do Sul/AC	SF	5,8	5,6	2,18	5,3	7,48	0,0	29	780	97	123
Bhs	40–55	Lima Duarte/MG	Q	23,0	4,6	0,53	4,8	6,93	1,6	8	830	50	120
Bh	–	Lima Duarte/MG	Q	13,3	4,6	0,55	6,6	8,45	1,3	7	880	5	115
Bhs	110–115	Cururipe/AL	SM ⁽⁵⁾	14,4	4,8	0,43	11,7	13,13	1,0	3	876	43	81
Bh	63–71	Quissamã/RJ	SM	24,3	3,6	0,64	9,8	11,84	1,4	5	900	35	65
Bh1	75–95	Quissamã/RJ	SM	36,0	3,6	1,81	17,7	22,51	3,0	8	910	0	90
Bh2	101–122	Quissamã/RJ	SM	40,1	3,8	1,41	21,1	26,21	3,7	5	905	0	95
Bh1	41–58	Quissamã/RJ	SM	24,5	3,8	0,82	14,8	18,32	2,7	4	911	4	85
Bh1	45–60	Quissamã/RJ	SM	23,5	3,7	0,71	10,9	13,71	2,1	5	900	0	100
Bsm	90–135	Marechal Deodoro/AL	SM	17,6	5,2	0,24	9,0	9,74	0,5	2	862	96	42
Bh2	150–180	Paranaguá/PR	SM	7,1	5,6	1,81	2,0	3,81	0,0	48	860	60	80
Bh2	115–180	Paranaguá/PR	SM	15,3	4,6	0,21	5,2	6,21	0,8	3	840	40	120
Bhs1	28–42	Mach.d' Oeste/RO	SF	10,6	5,2	0,44	3,8	4,24	0,0	10	905	13	82
Bhs2	42–74	Mach.d' Oeste/RO	SF	8,5	5,5	0,44	4,3	4,94	0,2	9	874	27	99
Bhs3	74–130	Mach.d' Oeste/RO	SF	5,6	5,5	0,44	3,2	3,74	0,1	12	872	18	110
Bh	40–65	Rio das Ostras/RJ	SM	25,2	4,9	3,31	13,6	18,21	1,3	18	915	0	85
Bhj	80–115	Rio de Janeiro/RJ	SM	12,6	5,4	1,70	6,1	7,84	0,0	22	977	1	22
Bhsj2	103–135	Cananéia/SP	SM	17,1	3,4	0,5	6,2	15,8	9,1	3	950	10	40
Bhs	160–190	Apui/AM	SF	10,5	5,0	0,22	9,0	10,22	1,0	2	921	59	20
Bhs	250–300	Prado/BA	SFM	20,6	4,0	0,33	13,9	18,13	3,9	2	765	154	81

⁽¹⁾ MO: material de origem. ⁽²⁾ SF: sedimento flúvico. ⁽³⁾ SFM: sedimento flúvico marinho. ⁽⁴⁾ Q: quartzo. ⁽⁵⁾ SM: sedimento marinho. ⁽⁶⁾ COT: carbono orgânico total. ⁽⁷⁾ SB: soma de bases. ⁽⁸⁾ H⁺: hidrogênio trocável. ⁽⁹⁾ CTC: capacidade de troca de cátions. ⁽¹⁰⁾ Al³⁺: alumínio trocável. ⁽¹¹⁾ V %: saturação por bases.

e na região norte do Rio de Janeiro, por Gomes et al. (1998b), com predominância alternada entre as frações. No entanto, na região da Serra da Mantiqueira, Benites (1998) observou padrão inverso, com maiores valores dos ácidos fúlvicos, seguidos dos ácidos húmicos. Diferindo do observado neste estudo, foi encontrado em solos da região norte do Rio de Janeiro por Benites et al. (2003b) o predomínio dos ácidos húmicos, com média de 58 %, seguidos pela humina.

Quanto à relação C-FAH/C-FAF, verificou-se ampla variação, com valores entre 0,2 e 228,0, sendo 28 horizontes com valores maiores que 1,0 (Quadro 10). Padrões semelhantes foram observados por Benites (2002), Schaefer et al. (2002), em solos altimontanos, e Benites et al. (2003b), na região norte do Rio de Janeiro. Gomes et al. (1998b), na região norte do Rio de Janeiro, observaram distribuição equitativa entre valores menores e maiores que 1,0. Na região da Serra da Mantiqueira, Benites (1998) constatou predomínio

Quadro 10. Distribuição do carbono orgânico total, carbono orgânico das frações húmicas e relações nos horizontes B espódicos (n = 45)

Perfil	Horiz.	g kg ⁻¹				%				C-FAH/C-FAF	C-EA/C-HUM	C-EA/COT
		COT ⁽¹⁾	C-FAF ⁽²⁾	C-FAH ⁽³⁾	C-HUM ⁽⁴⁾	FAF ⁽⁵⁾	FAH ⁽⁵⁾	HUM ⁽⁵⁾	EA ⁽⁵⁾			
CAA	Bh	7,5	0,8	4,0	4,6	11	53	61	64	5,0	1,0	0,6
CA1	Bh	7,7	3,6	0,6	3,2	47	8	42	55	0,2	1,3	0,5
CA2	Bh1	12,4	0,4	6,3	3,5	3	51	28	54	15,8	1,9	0,5
CA2	Bh2	22,7	0,7	19,0	3,1	3	84	14	87	27,1	6,4	0,9
CA2	Bh3	20,1	2,0	14,7	2,9	10	73	14	83	7,4	5,8	0,8
CN08	Bhs	17,9	11,6	1,9	4,9	65	11	27	76	0,2	2,8	0,8
CP2	Bh	13,0	0,4	7,2	3,6	3	55	28	58	18,0	2,1	0,6
CR1	Bh1	13,4	2,3	7,3	2,6	17	54	19	71	3,2	3,7	0,7
CR1	Bh2	9,8	3,0	1,2	2,7	31	12	28	43	0,4	1,6	0,4
CR2	Bhs1	10,0	3,4	3,7	2,4	34	37	24	71	1,1	3,0	0,7
CR2	Bhs2	13,0	7,0	2,4	0,7	54	18	5	72	0,3	13,4	0,7
CR2	Bhs3	21,3	5,4	9,8	1,7	25	46	8	71	1,8	8,9	0,7
CR2	Bhsm	14,0	4,8	8,3	1,6	34	59	11	93	1,7	8,2	0,9
CR2	Bhs4	5,5	4,8	1,3	1,4	87	24	25	111	0,3	4,4	1,1
DI3	Bh	5,1	1,0	4,2	0,4	20	82	8	102	4,2	13,0	1,0
ES2	Bh1	25,2	4,9	10,8	4,7	19	43	19	62	2,2	3,3	0,6
ES2	Bh2	24,0	8,4	9,8	7,1	35	41	30	76	1,2	2,6	0,8
ES3	Bh1	17,8	3,4	8,6	6,0	19	48	34	67	2,5	2,0	0,7
ES3	Bh2	13,2	3,5	6,1	5,6	27	46	42	73	1,7	1,7	0,7
ES5	Bhsm1	12,9	4,9	2,6	1,9	38	20	15	58	0,5	3,9	0,6
ES5	Bhsm2	8,6	4,6	4,6	0,1	53	53	1	106	1,0	92,0	1,1
ES7	Bhs	16,1	8,2	4,2	4,8	51	26	30	77	0,5	2,6	0,8
F1	Bh	6,3	3,2	2,0	1,7	51	32	27	83	0,6	3,1	0,8
F2	Bh1	10,0	3,7	3,5	3,4	37	35	34	72	0,9	2,1	0,7
F2	Bh2	8,0	3,7	1,2	1,5	46	15	19	61	0,3	3,3	0,6
F2	Bh3	5,8	1,9	4,2	2,4	33	72	41	105	2,2	2,5	1,1
IB10	Bhs	23,0	2,7	7,3	5,2	12	32	23	44	2,7	1,9	0,4
IB13	Bh	13,3	2,6	3,7	6,5	20	28	49	48	1,4	1,0	0,5
P05	Bhs	14,4	8,2	5,2	2,6	57	36	18	93	0,6	5,2	0,9
P1	Bh	24,3	1,3	17,5	4,5	5	72	19	77	13,5	4,2	0,8
P2	Bh1	36,0	1,2	18,5	3,8	3	51	11	54	15,4	5,2	0,5
P3	Bh2	40,1	1,1	30,0	11,2	3	75	28	78	27,3	2,8	0,8
P7	Bh1	24,5	0,9	16,8	3,5	4	69	14	73	18,7	5,1	0,7
P10	Bh1	23,5	0,1	22,8	5,4	0	97	23	97	228,0	4,2	1,0
P16	Bsm	17,6	11,0	3,2	0,3	63	18	2	81	0,3	47,3	0,8
PR1	Bh2	7,1	4,4	1,4	1,5	62	20	21	82	0,3	3,9	0,8
PR2	Bh2	15,3	4,1	7,3	4,4	27	48	29	75	1,8	2,6	0,7
RO	Bhs1	10,6	2,9	2,0	3,3	27	19	31	46	0,7	1,5	0,5
RO	Bhs2	8,5	2,8	2,1	3,6	33	25	42	58	0,8	1,4	0,6
RO	Bhs3	5,6	1,1	2,0	0,7	20	36	13	56	1,8	4,4	0,6
RJ	Bh	25,2	1,1	20,5	1,8	4	81	7	85	18,6	12,0	0,9
RJ5	Bhj	12,6	6,9	1,8	1,4	55	14	11	69	0,3	6,2	0,7
SP	Bhsj2	17,1	2,6	14,4	0,1	15	84	1	99	5,5	170,0	1,0
TH04	Bhs	10,5	8,2	2,1	0,1	78	20	1	98	0,3	103,0	1,0
TS10	Bhs	20,6	2,1	14,1	0,1	10	68	0	78	6,7	162,0	0,8
Média		15,4	3,7	7,6	3,1	30	44	22	74	9,9	16,5	0,7
Desvio-padrão		7,9	2,8	6,9	2,2	22	24	14	17	34,0	38,5	0,2

⁽¹⁾ COT: carbono orgânico total. ⁽²⁾ C-FAF: carbono orgânico da fração ácidos fúlvicos. ⁽³⁾ C-FAH: carbono orgânico da fração ácidos húmicos. ⁽⁴⁾ C-HUM: carbono orgânico da fração húmica. ⁽⁵⁾ FAF; FAH; HUM; EA (extrato alcalino): percentual de cada fração em relação ao carbono orgânico total.

dos ácidos fúlvicos, identificado pelos valores menores que 1,0 da relação C-FAH/C-FAF.

Para a relação C-EA/C-HUM, os valores estiveram entre 1,0 e 170,0: 41 horizontes apresentaram valores maiores que 1,5 e 36 maiores que 2,0 (Quadro 10). Padrão semelhante foi observado por Gomes et al.

(1998b), Benites (1998, 2002), Schaefer et al. (2002) e Benites et al. (2003b), sendo constatado predomínio de valores maiores que 2,0. Segundo Benites et al. (2001, 2003b), altos valores dessa relação podem ser analisados como indicativo da movimentação dos compostos alcalinossolúveis dentro do perfil de solo, identificando zonas de acúmulo de C orgânico.

Nas análises de correlação entre o COT e as frações húmicas com as propriedades químicas, destacam-se os valores entre o COT e C-FAH com pH (-0,51, -0,61), H⁺ (0,73 e 0,61), CTC (0,72 e 0,64) e C-FAH com Al³⁺ (0,52). Assim como nos solos anteriores, os ácidos húmicos têm participação efetiva na dinâmica dos solos, como destacado por Sposito (1989), Stevenson (1994) e Canellas et al. (2008).

Como características das frações alcalinossolúveis, observa-se comportamento inverso entre a dispersão de %FAF e a %FAH em função do pH, com a seguinte ordenação: para valores de pH em torno de 4,7, tem-se predomínio dos ácidos húmicos; já acima desse valor predominam os ácidos fúlvicos (Figura 1).

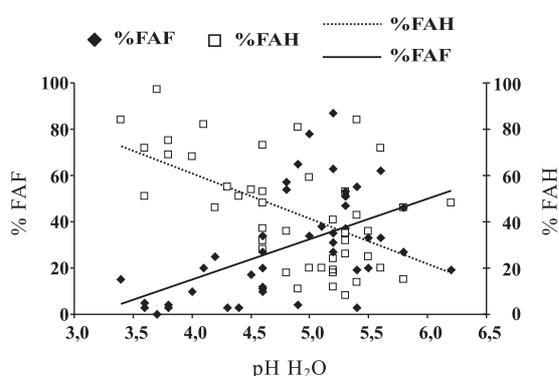


Figura 1. Diagrama de dispersão dos valores de pH com a %FAF e %FAH.

Avaliando a dispersão dos ácidos húmicos de Espodosolos e Gleissolos em função do pH, Fontana et al. (2008a) observaram padrão semelhante, sendo atribuído os maiores valores da %FAH à precipitação em função da baixa solubilidade dos ácidos húmicos em baixos valores de pH. Essa observação é corroborada por Schnitzer (1986), para o qual os ácidos húmicos podem formar complexos insolúveis em valores de pH menores que 6,5 quando associados com coloides, possibilitando a imobilização e o acúmulo dessa fração.

Comparação da distribuição das frações húmicas entre os diferentes horizontes diagnósticos e propostas de utilização no SiBCS

No quadro 11 são apresentados os valores médios e o desvio-padrão da média do COT, resumindo as informações obtidas a partir do fracionamento quantitativo da matéria orgânica para cada horizonte diagnóstico. Os resultados demonstram diferenças na distribuição das frações húmicas, o que indica que estas podem ser utilizadas em estudos pedológicos como atributo diagnóstico ou característica diferencial e, dessa forma, contribuir para a caracterização dos horizontes diagnósticos e ordens de solos, especialmente nos níveis de família e série (quinto e sexto níveis categóricos) do SiBCS, como destacado nos trabalhos de Valladares et al. (2003) e Fontana et al. (2008a,b).

Com base na distribuição das frações húmicas entre os horizontes diagnósticos apresentadas anteriormente e também nas avaliações feitas em diferentes trabalhos no Brasil, como os de Volkoff & Cerri (1980), Benites (1998, 2002), Gomes et al. (1998b), Benites et al. (2000, 2001), Schaefer et al. (2002), Melo (2002), Valladares et al. (2007), Fontana et al. (2008a,b), apresentam-se a seguir as seguintes propostas para os solos brasileiros.

Padrões nos horizontes diagnósticos

Os padrões apresentados a seguir contribuem para a definição dos horizontes diagnósticos, no âmbito da avaliação do fracionamento quantitativo da matéria orgânica do solo.

Horizontes O e H hísticos: predomínio do C-HUM ou C-FAH e valores da relação C-FAH/C-FAF maiores que 2,0.

Horizontes A chernozêmicos: predomínio do C-HUM e valores da relação C-EA/C-HUM menores que 0,5.

Horizontes A húmicos: predomínio do C-HUM, seguido pelo C-FAH.

Horizontes B espódico: predomínio do C-FAF ou C-FAH e valores da relação C-EA/C-HUM maiores que 2,0.

Quadro 11. Valores médios e desvio-padrão da média (entre parênteses) do COT, frações húmicas e das relações

Horizonte	COT	C-FAF	C-FAH	C-HUM	FAF	FAH	HUM	C-FAH/ C-FAF	C-EA/ C-HUM
		g kg ⁻¹			%				
O hístico	133,0 (42,4)	17,1 (9,8)	27,3 (18,8)	72,5 (32,5)	13 (6)	19 (10)	53 (16)	2,0 (1,7)	0,7 (0,3)
H hístico	292,3 (157,1)	15,8 (8,0)	82,8 (45,8)	113,1 (77,5)	6 (3)	29 (13)	39 (16)	5,6 (3,4)	1,3 (1,4)
A chernozêmico	28,1 (15,8)	2,0 (0,9)	2,1 (1,7)	19,4 (10,5)	9 (4)	7 (5)	71 (10)	0,9 (0,6)	0,2 (0,1)
A húmico	35,4 (18,0)	5,4 (3,1)	8,5 (7,4)	15,8 (8,9)	17 (6)	22 (13)	47 (13)	1,7 (1,6)	1,0 (1,0)
B espódico	15,4 (7,9)	3,7 (2,8)	7,6 (6,9)	3,1 (2,2)	30 (22)	44 (24)	22 (14)	9,9 (34)	16,5 (38,5)

Característica diferencial para os horizontes diagnósticos

Esta proposta visa contribuir para a estruturação dos níveis hierárquicos inferiores (5° - família e 6° - série) do SiBCS (Embrapa, 2006), uma vez que as informações referentes à matéria orgânica do solo estão relacionadas ao uso e manejo dos solos, bem como ao crescimento das plantas, sobretudo no tocante a crescimento do sistema radicular, relações solo-água-planta e propriedades importantes para engenharia e geotécnica, conforme estabelecido no SiBCS para esses níveis categóricos.

Segundo Fontana et al. (2001b), a quantidade da matéria orgânica e a proporção das frações húmicas têm servido como indicador de qualidade de solo, em razão da forte interação das substâncias húmicas com o material mineral, podendo estas ser alteradas pelo manejo do solo. Para Anjos et al. (2008), as diferenças observadas na quantidade e na proporção das frações húmicas não só expressam variações na pedogênese assim como permitem relacioná-las com atributos relevantes ao manejo dos solos. Diante dessa perspectiva, inúmeros trabalhos vêm sendo desenvolvidos no Brasil com o intuito de comparar os diferentes ambientes, bem como avaliar as quantidades e proporções das frações húmicas quando os solos são submetidos a diferentes tipos de uso e manejo.

Matéria orgânica estável (horizontes minerais superficiais) – C-EA/C-HUM ($\leq 0,5$)

Os baixos valores dessa relação são indicativos da forte estabilidade e, ou, interação da matéria orgânica com a matriz mineral, podendo, assim, ser analisados como um indicador da estabilidade da matéria orgânica do solo. Esse valor indica o predomínio da humina e é observado em horizontes A chernozêmicos, principalmente, e outros horizontes minerais. Nos horizontes A chernozêmicos, os baixos valores dessa relação são condicionados pela relação entre a matéria orgânica e os íons Ca e, ou, Mg com a matriz mineral do solo (Kononova, 1966; Theng, 1979; Duchaufour, 1983). Para os demais horizontes minerais, os baixos valores estão relacionados aos teores de argila (Oades, 1988; Greenland et al., 1992; Zech et al., 1997).

Matéria orgânica iluvial (horizontes minerais subsuperficiais) – C-EA/C-HUM ($\geq 2,0$)

Os altos valores desta relação são indicativos da movimentação das frações alcalinossolúveis dentro do perfil de solo e de zonas de acúmulo de C orgânico, podendo assim ser analisados como um indicador da capacidade iluvial dos solos (Benites et al., 2001, 2003b). Esse valor indica o predomínio das frações ácidos fúlvicos e húmicos e é observado em horizontes subsuperficiais B espódicos e B ou C glei. Esse comportamento deve-se à natureza solúvel dessas frações, que percolam no perfil, enquanto a humina, por sua natureza pouco solúvel, concentra-se nas camadas superficiais (Benites et al., 2001). Neste

grupo, devem-se excluir os horizontes A enterrado e C com caráter flúvico, pois ambos não apresentam evidências de iluviação de matéria orgânica e sim de outros processos, além do que tendem a apresentar valores dessa relação $< 1,0$, o que indica predomínio da humina.

Potencial de lixiviação (sistema ou solo) - C-FAH/C-FAF e C EA/C HUM ($\geq 1,0$)

Valores maiores que esses estão diretamente relacionados ao potencial de lixiviação, ao potencial de contaminação das águas subterrâneas por compostos orgânicos solúveis e à habilidade de o solo funcionar efetivamente como filtro.

CONCLUSÕES

1. Foram observadas distribuições diferenciadas do C orgânico das frações húmicas e dos valores de correlações entre os diferentes tipos de horizontes diagnósticos de solos classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

2. Pela avaliação das frações húmicas destaca-se nos horizontes O hístico e H hístico o predomínio da humina, seguida dos ácidos húmicos. No último são observados altos valores da relação C-FAH/C-FAF; no A chernozêmico, predomínio da humina e baixos valores da relação C-EA/C-HUM; no A húmico, predomínio da humina, seguida dos ácidos húmicos, e no B espódico, predomínio dos ácidos fúlvicos e húmicos e altos valores da relação C-FAH/C-FAF e C-EA/C-HUM.

3. Com base na avaliação da distribuição das frações húmicas, propõe-se o uso das seguintes características diferenciais para os níveis de família (quinto nível categórico) e série (sexto nível categórico) do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. (a) matéria orgânica estável (horizontes minerais superficiais) – C-EA/C-HUM $\leq 0,5$; (b) matéria orgânica iluvial (horizontes minerais subsuperficiais) – C-EA/C-HUM $\geq 2,0$; e (c) potencial de lixiviação (sistema ou solo) - C-FAH/C-FAF e C-EA/C-HUM $\geq 1,0$.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do CPGA-CS/UFRRJ, do CNPq e da Embrapa Solos.

LITERATURA CITADA

- ANJOS, L.H.C.; PEREIRA, M.G. & FONTANA, A. Matéria orgânica e pedogênese. In: SANTOS, G.A.; SILVA, G.A.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.65-86.

- BENITES, V.M. Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica e suas relações com a gênese de solos da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata Mineira. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1998. 123p. (Tese de Mestrado)
- BENITES, V.M.; KER, J.C. & MENDONÇA, E.S. Fracionamento quantitativo de substâncias húmicas como auxiliar na identificação de diferentes solos da região sul do Brasil – VI RCC. VI RCC – Reunião de correlação, classificação e aplicação de levantamentos de solos RS/SC/PR. In: CURCIO, G., ed. Guia de excursão de estudos de solos nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Colombo, Embrapa, 2000.p.184-192. (Embrapa Florestas)
- BENITES, V.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; MENDONÇA, E.S. & MARTIN NETO, L. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob campos de altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (MG). R. Bras. Ci. Solo, 25:661-674, 2001.
- BENITES, V.M. Caracterização de solos e das substâncias húmicas em Complexo Rupestre de Altitude. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 83p. (Tese de Doutorado)
- BENITES, V.M.; MADARI, B. & MACHADO, P.L.O.A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2003a. 7p. (Comunicado Técnico, 16)
- BENITES, V.M.; COELHO, M.R.; MENDONÇA-SANTOS, M.L.; SOUZA, L.F.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A.; SILVA, E.F.; TROMPOWSKY, P.M. & SANTOS, H.G. Fracionamento de substâncias húmicas em espodosolos do estado do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., Ribeirão Preto, 2003. Anais. Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003b. CD-ROM.
- BUOL, S.W.; HOLE, F.D. & MC CRACKEN, R.J. Soil genesis and classification. Ames, Iowa State University Press, 1980. 404p.
- CAMARGO, M.N. & RODRIGUES, T.E. Guia de excursão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 17., Manaus, 1979. Guia... Manaus, 1979.
- CANELLAS, L.P.; MENDONÇA, E.S.; DOBBS, L.B.; BALDOTTO, M.A.; VELLOSO, A.C.X.; SANTOS, G.A. & AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, G.A.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais & subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008. p.45-64.
- CAREY, F.A. & SUNDBERG, J. Advanced organic chemistry – structure and mechanisms. 3.ed. New York, Plenum Press, 1990. 802p.
- CONCEIÇÃO, M. Natureza do húmus e caracterização de solos com elevado teor de matéria orgânica da região de Itaguaí - Santa Cruz, RJ. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1989. 169p. (Tese de Mestrado)
- CONCEIÇÃO, M.; FREIXO, A.A.; ARAÚJO, W.S.; CUNHA, T.J.F.; MARTIN NETO, L.M. & SAAB, S.C. Caracterização das substâncias húmicas em solos orgânicos do estado do Rio de Janeiro, sob diversas atividades agrícolas. Rio de Janeiro, 1999. 6p. (Serie Embrapa - Pesquisa em Andamento, 5)
- CORRÊA, M.M.; KER, J.C.; MENDONÇA, E.S.; RUIZ, H.A. & BASTOS, R.S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região de várzeas de Souza (PB). R. Bras. Ci. Solo, 27:311-324, 2003.
- DALOMLIN, R.S.D.; GONÇALVES, C.N.; DICK, D.P.; KNIKER, H.; KLAMT, E. & KÖGEL-KANABNER, I. Organic matter characteristics and distribution in Ferralsol profiles of a climosequence in southern Brazil. Europ. J. Soil Sci., 57:644-654, 2005.
- DIAS, H.C.T.; SCHAEFER, C.E.G.R.; FERNANDES FILHO, E.I.; OLIVEIRA, A.P.; MICHEL, R.F.M. & LRMOS JR., J.B. Caracterização de solos altimontanos em dois transectos no Parque Estadual do Ibitipoca (MG). R. Bras. Ci. Solo, 27:469-481, 2003.
- DICK, D.P.; GONÇALES, C.N.; DALMOLIN, R.S.D.; KNIKER, H.; KLAMT, E.; KOGNEL-KNABER, I.; SIMÕES, M.L. & MARTIN-NETO, L. Characteristics of soil organic matter of different Brazilian Ferralsols under native vegetation as a function of soil depth. Geoderma, 124:319-333, 2005.
- DUCHAUFOR, P. Pedology. London, George Allen & Unwin Publication, 1977. 448p.
- DUCHAUFOR, P. Pédologie 1. Pédogèneses et classification. Paris, Masson, 1983.
- EHRlich, H.L. Geomicrobiology. New York, Marcel Dekker, 1990. 646p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO E APLICAÇÃO DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 4., Rio de Janeiro, 1994. Anais... Rio de Janeiro, 1995.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa do Solo. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006.
- FANNING, D.S. & FANNING, M.C.B. Soil morphology, genesis, and classification. New York, John Wiley & Sons, 1989. 395p.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; NASCIMENTO, G.B.N.; ANJOS, L.H.C. & EBLING, A.G. Matéria orgânica em solos e tabuleiros na Região Norte Fluminense-RJ. Flor. Amb., 8:114-119, 2001a.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; NASCIMENTO, G.B.; ANJOS, L.H.C. & EBLING, A.G. Frações da matéria orgânica e fertilidade de solos de Tabuleiro sob diferentes coberturas vegetais no norte fluminense – RJ. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11., Seropédica, 2001. Anais... Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2001b. p.3-6.

- FONTANA, A.; MATIELLO, J.D.; ANJOS, L.E.C. & PEREIRA, M.G. Fracionamento químico da matéria orgânica em solo sob diferentes coberturas vegetais em Sooretama (ES). *Magistra*, 17:135-141, 2005.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. & BENITES, V.M. Distribution of organic carbon in the humic fractions of diagnostic horizons from Brazilian soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 39:951-971, 2008a.
- FONTANA, A.; BENITES, V.M.; PEREIRA, M.G. & ANJOS, L.H.C. Substâncias húmicas como suporte à classificação de solos Brasileiros. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2073-2080, 2008b.
- GOMES, J.B.V.; RESENDE, M.; REZENDE, S.B. & MENDONÇA, E.S. Solos de três áreas de restinga. I Morfologia, caracterização e classificação. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:1907-1919, 1998a.
- GOMES, J.B.V.; RESENDE, M.; REZENDE, S.B. & MENDONÇA, E.S. Solos de três áreas de restinga. II Dinâmica de substâncias húmicas, ferro e alumínio. *Pesq. Agropec. Bras.*, 33:1921-1932, 1998b.
- GOMES, F.H.; TORRADO, P.V.; MACIAS, F.; GHERARDI, B. & PERES, J.L.O. Solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso (SP). I - caracterização e classificação. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1563-1580, 2007.
- GREENLAND, D.J.; WILD, A. & ADAMS, D. Organic matter dynamics in soils of the tropics – from myth to complex reality. In: LAL, R. & SANCHEZ, P.A., eds. *Myths and science of soils of the tropics*. Wisconsin, 1992. p.17-33. (SSSA Special Publication, 29)
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in southern Brazil and their application in classification of kaolinite soils. *Geoderma*, 29:27-39, 1983.
- KER, J.C.; FILHO, A.C.; OLIVEIRA, C.V. & SANTOS, H.G. REUNIÃO NACIONAL DE CORRELAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS, 7., Viçosa, MG, 2005. Guia de excursão. Viçosa, MG, UFV/Embrapa Solos/UFGM, 2005.
- KONONOVA, M.M. *Soil organic matter*. 2.ed. Oxford, Pergamon Press, 1966.
- LEPSCH, I.F. & BUOL, S. Oxisols-Landscape relationships in Brazil. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, CLASSIFICATION, CHARACTERIZATION, AND UTILIZATION OF OXISOLS, 8., Rio de Janeiro, 1988. *Proceedings*. Rio de Janeiro, Embrapa/SMSS/AID/UPR, 1988. Part 1. p.174-189.
- MAFRA, A.L.; SENESI, N.; BRUNETTI, G.; MIKLÓS, A.A.W. & MELFI, A.J. Humic acids from hydromorphic soils of the upper Negro river basin, Amazonas: Chemical and spectroscopic characterization. *Geoderma*, 138:170-176, 2007.
- MELO, V.F. Solos e indicadores de uso agrícola em Roraima: Áreas Indígena Maloca Flechal e de Colonização do Apiaú. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2002. 145p. (Tese de Doutorado)
- MENDONÇA, M.M. Diagnóstico de propriedades edáficas em áreas agrícolas e de floresta com elevado teor de matéria orgânica no município do Rio de Janeiro. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1999. 195p. (Tese de Mestrado)
- MENDONÇA, E.S. & ROWELL, D.L. Mineral and organic fractions of two oxisols and their influence on effective cation-exchange capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60:188-192, 1996.
- MIRANDA, C.S.S. & FERREIRA, M.G.V.X. Caracterização de solos com A chernozêmico na zona da mata norte do estado de Pernambuco. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:107-120, 1999.
- MOREAU, A.M.S.S.; KER, L.M.C. & GOMES, F.H. Caracterização de solos de duas toposequências em tabuleiros costeiros do sul da Bahia. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:1007-1019, 2006.
- OADES, J.M. The retention of organic matter in soils. *Biogeochemistry*, 5:35-70, 1988.
- PEREIRA, M.G. & ANJOS, L.H.C. Formas extraíveis de ferro em solos do Estado do Rio de Janeiro. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:371-382, 1999.
- SCHAEFER, C.E.R.; KER, J.C.; GILKES R.J.; CAMPOS J.C.; COSTA L.M. & SAADI, A. Pedogenesis on the uplands of the Diamantina Plateau, Minas Gerais, Brazil: A chemical and micropedological study. *Geoderma*, 107:243-269, 2002.
- SCHNITZER, M. Binding of humic substances by soil mineral colloids. In: HUANG, P.M. & SCHNITZER, M., eds. *Interactions of soil minerals with natural organics and microbes*. Madison, Soil Science Society of America, 1986. p.77-102.
- SPOSITO, G. *The chemistry of soils*. New York, Oxford Academic Press, 1989. 227p.
- STEVENSON, F.J. *Humus chemistry: Genesis, composition, reactions*. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1994.
- SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T. & SUMNER, M.E., eds. *Methods of soil analysis: Chemical methods*. Madison, Soil Science Society of America/American Society of Agronomy, 1996. Part 3. p.1011-1020. (Soil Science Society of America Book Series, 5)
- THENG, B.K.G. *The chemistry of clay-organic reactions; Formation and properties of clay-polymer complexes*. London, Adam Hilger, New York, Elsevier Science Publishing, 1979. 343p.
- VALLADARES, G.S.; BENITES, V.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. & EBELING, A.G. Proposta para classificação de Organossolos em níveis inferiores com base nas frações Húmicas. Campinas, Embrapa Monitoramento por Satélite, 2003. 35p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2)
- VALLADARES, G.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; BENITES, V.M.; EBELING, A.G. & MOUTA, R.O. Humic substance fractions and attributes of Histosols and related high-organic-matter soils from Brazil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 38:763-777, 2007.

- van RANST, E.; STOOPS, G.; GALLETZ, A. & VANDENBERGHE, R.E. Properties, some criteria of classification and genesis of upland forest Podzols in Rwanda. *Geoderma*, 76:263-283, 1997.
- VOLKOFF, B. Comparação do húmus de um Solontchak, uma Rendzina e um solo litólico da região semiárida do Rio Grande do Norte. *R. Bras. Ci. Solo*, 4:49-56, 1980.
- VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. & MELFI, A.J. Húmus e mineralogia dos horizontes superficiais de três solos de campo de altitude dos Estados de Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:277-283, 1984.
- VOLKOFF, B. & CERRI, C.C. Comparação de húmus de um solontchak, um rendzina e um solo litólico da região semiárida do Rio Grande do Norte. *R. Brás. Ci. Solo*, 4:49-56, 1980.
- ZECH, Z.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A. & SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma*, 79:69-116, 1997.
- YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19:1467-1476, 1988.