

Carbono Orgânico e as Frações Húmicas em Diferentes Horizontes Diagnósticos de Solos Brasileiros



ISSN 1517-2627

Junho, 2012

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Solos
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 156

Carbono Orgânico e as Frações Húmicas em Diferentes Horizontes Diagnósticos de Solos Brasileiros

*Ademir Fontana
Vinícius de Melo Benites
Marcos Gervásio Pereira
Lúcia Helena Cunha dos Anjos*

Embrapa Solos
Rio de Janeiro, RJ
2012

Embrapa Solos

Rua Jardim Botânico, 1.024 - Jardim Botânico - Rio de Janeiro, RJ

Fone: (21) 2179-4500

Fax: (21) 2274-5291

Home page: www.cnps.embrapa.br

E-mail (sac): sac@cnps.embrapa.br

Comitê Local de Publicações

Presidente: Daniel Vidal Pérez

Secretário-Executivo: Jacqueline Silva Rezende Mattos

Membros: Ademar Barros da Silva, Cláudia Regina Delaia, Maurício Rizzato Coelho, Elaine Cristina Cardoso Fidalgo, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Ana Paula Dias Turetta, Fabiano de Carvalho Balieiro, Quitéria Sônia Cordeiro dos Santos.

Supervisor editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

Normalização bibliográfica: *Ricardo Arcanjo de Lima*

Revisão de texto: *André Luiz da Silva Lopes*

Editoração eletrônica: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

1ª edição

1ª impressão (2012): online

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

F679g Fontana, Ademir.

Carbono orgânico e as frações húmicas em diferentes horizontes diagnósticos de solos brasileiros / Ademir Fontana... [et al.]. — Dados eletrônicos. — Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2012.

34 p. - (Documentos / Embrapa Solos, ISSN 1517-2627 ; 156)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: < <http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/> >.

Título da página da Web (acesso em 11 jul. 2012).

1. Carbono orgânico. 2. Frações húmicas. 3. Atributos do solo. 4. Classificação de solos. I. Benites, Vinícius de Melo. II. Pereira, Marcos Gervásio. III. Anjos, Lúcia Helena Cunha dos. IV. Título. V. Série.

CDD (21.ed.) 631.44

© Embrapa 2012

Autores

Ademir Fontana

Pesquisador A Embrapa Solos

E-mail: ademir.fontana@embrapa.br

Vinícius de Melo Benites

Pesquisador A Embrapa Solos

E-mail: vinicius.benites@embrapa.br

Marcos Gervásio Pereira

Professor Associado IV Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro

E-mail: mgervasiopereira@gmail.com

Lúcia Helena Cunha dos Anjos

Professor Associado IV Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro

E-mail: lanjoserural@gmail.com

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas de apoio do Mestrado e do Doutorado, ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRRJ) e aos laboratórios de Gênese e Classificação e de Matéria Orgânica, do Departamento de Solos, da UFRRJ.

Sumário

Introdução	9
Material e Métodos	11
Resultados e Discussão	12
Teores de Carbono Orgânico nos Horizontes Diagnósticos	12
Distribuição das Frações Húmicas nos Horizontes Diagnósticos	19
Análise Integrada dos Dados	22
Conclusões	24
Referências	24

Carbono Orgânico e as Frações Húmicas em Diferentes Horizontes Diagnósticos de Solos Brasileiros

Ademir Fontana

Vinícius de Melo Benites

Marcos Gervásio Pereira

Lúcia Helena Cunha dos Anjos

Introdução

A importância do componente orgânico nos solos se destaca em primeira mão durante a descrição morfológica de um perfil pela separação dos horizontes. Neste momento, pode-se fazer a avaliação da relação direta ou indireta com os atributos morfológicos de cor e estrutura, principalmente (SANTOS et al., 2013; ANJOS et al., 2008; RIBEIRO et al., 2012). No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (EMBRAPA, 2013), é preconizado o uso do teor de carbono orgânico (C org) como atributo diagnóstico para distinção entre material mineral e orgânico. Ainda, o teor de C org absolutos ou ponderados e suas variações ou incrementos no perfil de solo são utilizados no estabelecimento dos diferentes horizontes diagnósticos superficiais e subsuperficiais.

Em relação à participação da matéria orgânica e das frações húmicas na formação dos horizontes de solos, as primeiras teorias foram postuladas por Dokuchaiev e Sibirtsev, em trabalhos que relatavam a variação da quantidade de húmus nos diferentes solos da Rússia com horizontes A chernozêmicos e B espódicos, seguindo com outros pesquisadores nos estudos com as diferenças qualitativas do húmus de acordo com o grau de mobilidade (citados por TYURIN, 1949). Mais tarde, a importância da matéria orgânica foi destacada como fator formação do solo na função apresentada por Hans Jenny (JENNY, 1941).

Em relação à participação do componente orgânico, para os horizontes hísticos (O e H), a matéria orgânica atua como material de origem, pelo acúmulo de materiais orgânicos diversos em grande quantidade. Desta forma, as propriedades e os atributos químicos e físicos estão fortemente relacionados às características da matéria orgânica, as quais superam a influência dos componentes minerais (PEREIRA et al., 2005). Nos horizontes A chernozêmicos a matéria orgânica é um componente fundamental pela participação na formação de complexos organominerais de elevada estabilidade na superfície dos solos (KONONOVA, 1966; DUCHAUFOR, 1976, 1977), enquanto nos horizontes B espódicos tem-se atribuído a matéria orgânica à participação na translocação de íons metálicos como alumínio e ferro na forma de complexos organometálicos (DUCHAUFOR, 1977; BUOL et al., 1980; KÄMPF; CURI, 2012).

Ao que se refere às frações húmicas, estas obtidas de acordo com a solubilidade da matéria orgânica do solo em soluções alcalinas e ácidas, as pesquisas recentes tem relacionado o seu papel nos solos com o intemperismo dos minerais (EHRlich, 1990), os processos pedogenéticos (DUCHAUFOR, 1977; BUOL et al., 1980; FANNING; FANNING, 1989), o grau de cristalinidade de óxidos e hidróxidos (PEREIRA; ANJOS, 1999) e a relação hematita/goethita (KÄMPF; SCHWERTMANN, 1983).

Observações realizadas por Fontana et al. (2010) em diferentes horizontes diagnósticos de solos brasileiros destacam que a distribuição das frações húmicas ao longo do perfil de solo, condicionada pela mobilidade ou interação com a matriz mineral, apresenta relação com os processos pedogenéticos, com reflexo na diferenciação dos horizontes e nos atributos químicos e físicos dos solos. Como possível influência em processos pedogenéticos, tem-se atribuído às frações húmicas a translocação ao longo do perfil dos íons alumínio e ferro pela formação de complexos organometálicos nos horizontes B espódicos (GOMES et al., 1998; BENITES et al., 2001; ARAUJO et al., 2006).

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo avaliar o carbono orgânico e as frações húmicas quanto à participação, as relações e a capacidade de distinção de diferentes horizontes diagnósticos de solos brasileiros.

Material e Métodos

Foram utilizadas amostras de terra referente aos horizontes de solos na qual a matéria orgânica apresenta forte relação com a gênese (ANJOS et al., 2008) ou nos horizontes em que o teor de carbono orgânico é utilizado como um atributo chave para a sua identificação e classificação (SANTOS et al., 2013; EMBRAPA, 2013). Dentre os horizontes estudados de diferentes regiões do Brasil, 124 são horizontes superficiais (O e H hísticos, A chernozêmicos e A húmicos) e 45 são horizontes subsuperficiais (B espódicos). As amostras de terra fina seca ao ar foram analisadas quanto ao teor de carbono orgânico e atributos químicos (EMBRAPA, 1997) e frações húmicas (fracionamento químico) (BENITES et al., 2003a). Na Tabela 1 são apresentados os dados dos atributos químicos de cada horizonte diagnóstico.

Tabela 1. Atributos químicos de horizontes diagnósticos de solos de diversas regiões do Brasil.

Horizontes	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	CTC	V	m
	água	cmol. kg ⁻¹				%		
O hísticos (n=13)	5,0 ¹ (1,2) ²	6,0 (13,4)	2, 8 (3,2)	2,4 (2,3)	28,4 (15,7)	40,20 (12,33)	22 (33)	38 (33)
H hísticos (n=30)	4,6 (1,2)	6,2 (6,1)	5,5 (4,7)	1,8 (1,8)	33,4 (21,2)	50,68 (22,73)	31 (28)	17 (17)
A chernozêmicos (n=43)	7,1 (07)	14,3 (8,3)	4,0 (2,7)	0,0 (0,0)	2,3 (1,7)	21,22 (9,77)	87 (10)	0 (0)
A húmicos (n=39)	4,8 (0,6)	1,2 (2,0)	0,9 (1,0)	2,3 (2,2)	14,4 (12,1)	19,18 (13,71)	25 (20)	54 (28)
B espódicos (n=45)	4,8 (0,7)	0,5 (0,6)	0,6 (0,5)	1,6 (1,7)	9,3 (5,0)	12,09 (6,08)	12 (11)	50 (30)

¹Média; ² = Desvio padrão da média; n = número de horizontes analisados; CTC: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V: saturação por bases; m = saturação por alumínio.

Os dados foram avaliados conjuntamente pela análise de multivariada de componentes principais. Foi utilizado como variáveis o C org, as frações húmicas (teor, porcentagem e relação entre frações) e os atributos químicos de cada horizonte. A análise de componentes principais consiste em ordenar os horizontes pelo efeito simultâneo da variância dos atributos (variáveis) em um gráfico bidimensional, onde, quanto mais próximos forem os pontos, maior a tendência de semelhança entre os perfis. Foram avaliados até cinco componentes principais, no entanto, os resultados se concentram em apenas dois, uma vez que a avaliação dos demais componentes não apresentou resultados significativos quanto à ordenação dos horizontes diagnósticos.

Para a análise multivariada os dados foram padronizados com média zero e variância um, visando eliminar o efeito da amplitude dos valores devido às diferentes unidades de medida (KHATTREE; NAIK, 2000). Todas as análises foram realizadas pelo programa Statistica 7.

Resultados e Discussão

Teores de Carbono Orgânico nos Horizontes Diagnósticos

Os teores de carbono orgânico do solo (C org) apresentam valores entre 81,6 e 638,6 g kg⁻¹ nos horizontes de composição orgânica (O e H hísticos) e entre 3,7 e 75,0 g kg⁻¹ nos horizontes com predominância de materiais minerais (A chernozêmicos, A húmicos e B espódicos) (Tabela 2). Com base nos teores de C org, os diferentes tipos de horizontes estão representados na seguinte ordem: H hísticos > O hísticos > A húmicos > A chernozêmicos > B espódicos.

Para os horizontes O e H hísticos, além dos maiores teores de C org, destaca-se a maior amplitude dentre os horizontes estudados, com teores nos O hísticos entre 81,6 e 228,0 g kg⁻¹ e nos H hísticos entre 82,4 e 638,6 g kg⁻¹ (Tabela 2). A constatação de maior amplitude possivelmente está relacionada à heterogeneidade do material orgânico que deu origem aos horizontes e as peculiaridades do ambiente, como as variações da drenagem, temperatura, pH e elementos químicos. Em relação ao ambiente de ocorrência dos horizontes estudados, apresenta-se as variações da temperatura, indicada pela altitude (interior, baixada e altimontano) e a presença de tiomorfismo (Tabela 2). Segundo Pereira et al. (2005), as variáveis apresentadas são destacadas como fundamentais para as variações no desenvolvimento e nas características dos solos classificados como orgânicos. Variações e relações semelhantes foram destacadas em trabalhos de Valladares et al. (2007) e Benites et al. (2007).

Nos horizontes A chernozêmicos, os teores de C org apresentam valores entre 3,7 e 67,8 g kg⁻¹, enquanto nos A húmicos entre 8,2 e 75,0 g kg⁻¹ (Tabela 2). Nos A chernozêmicos a interação entre as partículas orgânicas e minerais conduz a formação de complexos organominerais de elevada estabi-

lidade na superfície dos solos. Este fenômeno é proporcionado pela interação entre os grupos funcionais ionizados da matéria orgânica, as argilas 2:1, que geralmente estão presentes nesses horizontes e os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} (BRYDON; SOWDEN, 1959; KONONOVA, 1966; DUCHAUFOR, 1976, 1977; THENG, 1979; BUOL et al., 1980; BRUCKERT et al., 1994; SIX et al., 2000; MAJZIK; TOMBÁ CZ, 2007ab). A participação de cátions como Ca^{2+} , Mg^{2+} no complexo sortivo destes horizontes pode ser observado na Tabela 1. Nos horizontes A húmicos, variações do pedoambiente podem levar ao desenvolvimento variado da vegetação, com reflexo na quantidade e qualidade da matéria orgânica. A variação de ambiente pode ser observada pela presença de ambiente altimontano até baixada litorânea (Tabela 2).

Nos horizontes B espódicos, os teores variaram entre 5,1 e 40,1 g kg⁻¹ (Tabela 2). A constatação de grande amplitude deve estar relacionada às peculiaridades do pedoambiente, como a variação da composição vegetativa, granulometria e umidade (flutuação do lençol freático).

Diversos trabalhos também têm atribuído as variações nos teores de C org para os horizontes A húmicos e B espódicos a idade (tempo). Nos A húmicos, o tempo revela a influência de mudanças climáticas (umidade e temperatura) como fator de controle da vegetação, o qual foi amplamente estudado por Calegari (2008) em estudo com Latossolos com A húmicos de diversas regiões do Brasil, enquanto para os B espódicos o tempo revela padrões diferenciados quanto a formação ou destruição, sendo destacado os trabalhos de Benites (1998); Gomes et al. (1998); Benites et al. (2003b); Dias et al. (2003); Mafra et al. (2007); Coelho et al. (2010).

Tabela 2. Informações gerais, carbono orgânico e frações húmicas de horizontes diagnósticos de solos de diversas regiões do Brasil.

Perfil	Horizonte	Profundidade	Localização	Ambiente/ Material de Origem	C org	CFAF	CFAH	CHUM
		cm			g kg ⁻¹			
O históricos								
CA1	O	0-18	Alto Caparaó/MG	A ¹	190,0	24,0	57,0	120,8
CA4	O	0-20	Alto Caparaó/MG	A	114,0	23,6	32,6	63,6
CD1	O	0-9	Palmeiras/BA	A	116,0	6,9	24,0	62,0
CD6	O	0-13	Palmeiras/BA	A	118,0	5,7	27,6	64,6
IB6	O	0-30	Lima Duarte/MG	A	169,0	10,3	58,4	93,8
LS1	O	0-15	Lindóia do Sul/SC	I	118,2	18,4	14,6	108,4
MB9	O	0-23	Bocaina de Minas/MG	A	116,0	24,4	34,6	52,8
P1	O	0-23	Bodoquena/MS	I	104,9	2,8	1,4	62,8
PR3	O	0-20	Curitiba/PR	A	228,0	35,8	51,3	132,5
RJ2	O1	0-42	Itatiaia/RJ	A	170,4	27,0	20,6	65,3
RJ2	O2	42-55	Itatiaia/RJ	A	98,6	18,7	6,0	26,0
RS2	O	0-25	Cambará do Sul/RS	A	81,6	9,4	16,3	28,9
RS3	O	0-25	Canela/RS	A	108,8	15,3	10,8	60,8
H históricos								
AE19	H	0-20	Bonito/MS	I	88,3	3,8	8,3	66,3
AL1	Hop1	0-27	Jequiá da Praia/AL	BLT	298,8	30,5	65,5	149,5
AL2	Hdopj	0-23	Coruripe/Al	BLT	522,3	16,8	98,0	236,7
BA2	Hdj	0-15	Ituberá/BA	BLT	385,0	12,1	98,0	279,3
BA2	Hdoj1	15-32	Ituberá/BA	BLT	417,6	12,4	159,2	151,1
BA3	Hdopj1	0-14	Trancoso/BA	BLT	318,0	22,6	79,0	156,0
DF1	Hd1	0-26	GuaraII/DF	I	145,8	14,4	92,8	26,6
DF1	Hd2	26-48	GuaraII/DF	I	167,6	12,1	57,2	44,8
ES1	Hdp1	0-10	Mimoso do Sul/ES	I	234,7	23,9	61,1	77,3
MA	Hj	0-8	São Luís/MA	BLT	82,4	2,7	10,8	38,1
MG2	Hdo1	0-20	Coronel Pacheco/MG	I	114,3	11,7	22,4	71,9
MS2	Hdo1	0-40	Porto Morumbi/MS	I	182,4	14,8	57,2	39,3
MS2	Hd	150-180	Eldorado/MS	I	147,0	6,9	75,3	38,5
P5	H	0-30	Bodoquena/MS	I	132,0	4,0	3,0	85,8
PR2	Hdp1	0-20	Tijucas do Sul/PR	I	224,8	10,5	68,1	46,4
PR2	Hdp2	20-55	Tijucas do Sul/PR	I	263,9	12,1	117,2	63,6
RJ	H	0-16	Rio das Ostras/RJ	BL	121,6	8,9	30,2	47,6
RJ3	Hdp	0-25	São José da Boa Morte/RJ	I	349,5	21,8	90,1	105,0
RJ3	Hdo1	25-45	São José da Boa Morte/RJ	I	375,0	29,2	91,5	106,2
RJ5	Ho1	0-10	Rio de Janeiro/RJ	BL	317,0	14,3	49,6	145,2
RS1	Hdp	0-10	Cambará do Sul/RS	I	109,8	10,9	33,2	44,3
RS4	Hpj	0-16	Viamão/RS	BLT	470,0	12,9	129,0	263,6
RS5	Hdpj	0-35	Viamão/RS	BLT	541,1	12,7	127,6	216,3
RS5	Hdj	35-46	Viamão/RS	BLT	414,9	13,2	115,5	139,2
SC1	H1	0-17	Gravatal/SC	BL	277,2	32,7	78,0	95,1
SC1	H2	17-67	Gravatal/SC	BL	445,7	26,0	108,5	224,5
SC2	Hdoj1	0-20	Gov. Celso Portela/SC	BLT	567,2	27,3	164,9	154,4
SC2	Hdoj2	20-100	Gov. Celso Portela/SC	BLT	638,6	13,5	183,0	222,6
SP1	Hp1	0-12	Taubaté/SP	I	231,0	23,3	104,6	40,6
SP1	Hp2	12-45	Taubaté/SP	I	186,2	15,1	104,4	16,5
A chernozêmicos								
AE15	A	0-35	Bonito/MS	C	30,7	2,1	2,5	21,0
AE20	A	0-23	Bonito/MS	C	30,1	2,9	3,9	19,6
AE23	A	0-40	Bonito/MS	C	44,8	1,6	5,6	36,8
AE125	A	0-20	Bonito/MS	C	44,8	3,9	1,5	31,9
AE133	A	0-30	Bonito/MS	C	44,8	3,0	3,9	36,4
AE135	A	0-20	Bonito/MS	C	43,5	2,6	4,1	31,9
AE143	A	0-20	Bonito/MS	C	30,2	1,9	3,8	21,0
AE147	A	0-30	Bonito/MS	C	30,7	2,3	2,6	19,9
LS1	A2	15-40	Lindóia do Sul/SC	B	28,2	3,7	3,5	18,6
LS2	A1	0-15	Lindóia do Sul/SC	B	27,6	3,0	2,2	15,6
LS2	A2	15-35	Lindóia do Sul/SC	B	16,2	2,7	1,8	9,8
MS1	A1	0-25	Ladário/MS	C	44,8	2,5	2,2	26,7
MS1	A2	25-50	Ladário/MS	C	34,5	1,5	2,1	24,3

P2	A1	0-8	Bodoquena/MS	C	67,8	3,9	8,2	41,4
P2	A2	8-26	Bodoquena/MS	C	43,2	2,7	2,1	25,6
P2"	A1	0-10	Bodoquena/MS	C	66,0	2,0	3,3	37,8
P2"	A2	10-23	Bodoquena/MS	C	52,6	1,8	1,7	31,2
P2"	AB	23-32	Bodoquena/MS	C	38,7	1,4	1,0	25,4
P3	A1	0-14	Bodoquena/MS	C	45,8	2,2	3,8	37,8
P3	A2	14-24	Bodoquena/MS	C	30,0	1,6	1,0	23,4
P3	AB	24-32	Bodoquena/MS	C	19,7	1,5	0,7	15,8
P4	A	0-27/33	Bodoquena/MS	C	51,0	2,2	1,2	37,8
P07	A1	0-18	Apodi/RN	C	15,6	2,5	1,6	12,3
P07	A2	18-33	Apodi/RN	C	7,2	0,6	0,1	7,1
P22	Ap	0-27	Mandaquari/PR	B	23,2	0,9	0,4	13,8
P43	A	0-30	Ladário/MS	C	21,1	0,9	0,6	17,8
PF1	Ap	0-30	Italva/RJ	C	14,4	1,1	0,5	11,7
PF2	Ap	0-17	Italva/RJ	C	13,6	1,0	0,1	9,9
PF2	AB	17-25	Italva/RJ	C	7,2	0,6	0,1	6,0
PF3	Ap	0-15	Cordeiro/RJ	C	12,0	1,3	1,2	7,4
PF3	A2	15-27	Cordeiro/RJ	C	16,2	1,4	0,7	12,0
PF6	Ap	0-40	Pinheiral/RJ	B	16,3	2,9	2,1	11,8
PF6	A2	40-60	Pinheiral/RJ	B	10,8	1,7	0,7	8,0
PF7	Ap	0-25	Itaperuna/RJ	G	21,1	1,8	0,9	18,8
PT70	A1	0-7	Corumbá/MS	C	12,4	1,8	1,9	9,3
PT70	A2	7-27	Corumbá/MS	C	3,7	0,7	0,7	2,8
RJ	A	0-13	Pinheiral/RJ	B	18,4	2,8	2,7	12,0
RJ1	Ap	0-19	Euclidelândia/RJ	C	16,5	1,2	0,5	10,0
RJ2	Ap	0-32	Italva/RJ	C	17,7	2,3	1,3	10,5
RS1	A	0-80	Bagé/RS	G	14,9	1,9	0,1	10,7
SC2	Ap	0-80	Ipira/SC	B	28,9	3,8	5,0	21,2
SC2	A2	80-160	Ipira/SC	B	22,8	2,8	2,8	13,3
A húmicos								
AM	A	0-25	Municoré/AM	BI	10,0	2,7	1,7	7,7
BA1	A1	0-35	Camaçari/BA	BL	63,5	4,7	12,5	31,0
BA1	A2	35-40	Camaçari/BA	BL	27,9	2,6	6,6	12,1
CA2	AB	28-38	Alto Caparaó/MG	A	50,0	11,2	10,2	16,2
ES1	Ap	0-10	Linhares/ES	BL	31,7	4,9	7,8	19,8
ES1	AC	10-25	Linhares/ES	BL	15,6	1,5	4,6	8,5
IC1	A	-	Ouro Preto/MG	A	29,2	3,1	8,0	14,8
MB4	A	-	Bocaina de Minas/MG	A	24,8	4,3	9,5	10,8
MG	A2	18-43	Candeias/MG	I	22,3	6,3	4,8	11,1
P9	A	38-60	Valença/RJ	I	53,7	7,2	10,0	24,4
P9	AB	60-75	Valença/RJ	I	21,0	5,6	5,0	11,0
P12	Ap1	-	Campos do Jordão/SP	I	22,3	3,3	3,2	11,9
P12	Ap2	-	Campos do Jordão/SP	I	15,8	4,1	2,2	10,0
P25	Ap1	-	Campos do Jordão/SP	I	9,6	1,5	0,1	5,8
P25	Ab1	-	Campos do Jordão/SP	I	15,0	2,4	2,2	7,1
PA	A1	0-15	Igarapé Mirim/PA	I	31,0	3,8	3,2	18,0
PA	AC	15-39	Igarapé Mirim/PA	I	11,6	2,7	0,9	5,6
PF5	A1	0-20	Nova Friburgo/RJ	I	32,3	5,2	4,8	14,5
PF5	A2	20-40	Nova Friburgo/RJ	I	25,9	4,3	3,2	11,8
PR	Ap	0-25	Castro/PR	I	38,5	6,0	12,0	19,9
PR	A2	25-100	Castro/PR	I	37,4	3,8	16,8	9,9
PR1	A1	0-14	Palmas/PR	A	56,3	7,2	14,4	33,0
PR1	A2	14-45	Palmas/PR	A	32,4	5,7	9,2	16,0
RJ	A	0-24	Rio das Ostras/RJ	BL	52,5	4,9	11,8	25,3
RJ1	Ab2	130-185	Cantagalo/RJ	I	8,2	1,7	2,0	2,5
RJ2	A1	0-25	Itatiaia/RJ	A	66,2	17,8	22,0	18,4
RJ2	A2	25-45	Itatiaia/RJ	A	48,5	5,3	15,3	10,4
RS	A1	0-15	Gramado/RS	A	75,0	9,0	13,7	44,4
RS	A2	15-30	Gramado/RS	A	63,1	10,9	9,3	27,5
RS	A3	30-50	Gramado/RS	A	40,7	8,2	8,2	13,6
RS1	A	0-47	Canela/RS	A	55,5	7,2	7,2	29,2
RS2	A	25-55	Cambara do Sul/RS	A	48,2	4,6	21,0	13,0
RS3	A2	15/18-30/34	Canela/RS	A	51,3	6,6	5,1	26,0
SB4	A	0-16	Fervedouro/MG	I	47,0	4,9	10,4	20,2
SP	A1	0-13	Ubatuba/SP	I	34,5	6,6	4,6	17,2
SP	A2	13-27	Ubatuba/SP	I	26,4	5,2	3,9	10,5
SP1	Ap	8-49	Taubaté/SP	BI	51,0	4,2	39,3	6,6
SP2	A1	0-20	Monte Alegre do Sul/SP	I	10,5	2,8	1,2	7,9
SC1	A	0-170	Lages/SC	I	25,1	7,8	2,6	13,0

B espódicos								
CAA	Bh	60-85	Cruzeiro do Sul/AC	I/SF	7,5	0,8	4,0	4,6
CA1	Bh	-124	Cruzeiro do Sul/AC	I/SF	7,7	3,6	0,6	3,2
CA2	Bh1	97-130	Cruzeiro do Sul/AC	I/SF	12,4	0,4	6,3	3,5
CA2	Bh2	130-140	Cruzeiro do Sul/AC	I/SF	22,7	0,7	19,0	3,1
CA2	Bh3	140-145	Cruzeiro do Sul/AC	I/SF	20,1	2,0	14,7	2,9
CN08	Bhs	280-300	Prado/BA	BL/SFM	17,9	11,6	1,9	4,9
CP2	Bh	20-35	Conc. Mato Dentro/MG	A/Q	13,0	0,4	7,2	3,6
CR1	Bh1	-140	Cruzeiro do Sul/AC	I/SF	13,4	2,3	7,3	2,6
CR1	Bh2	140-175	Cruzeiro do Sul/AC	I/SF	9,8	3,0	1,2	2,7
CR2	Bhs1	-105	Cruzeiro do Sul/AC	I/SF	10,0	3,4	3,7	2,4
CR2	Bhs2	105-130	Cruzeiro do Sul/AC	I/SF	13,0	7,0	2,4	0,7
CR2	Bhs3	-195	Cruzeiro do Sul/AC	I/SF	21,3	5,4	9,8	1,7
CR2	Bhsm	-250	Cruzeiro do Sul/AC	I/SF	14,0	4,8	8,3	1,6
CR2	Bhs4	-320	Cruzeiro do Sul/AC	I/SF	5,5	4,8	1,3	1,4
DI3	Bh	25-40	Diamantina/MG	A/Q	5,1	1,0	4,2	0,4
ES2	Bh1	14-50	Linhares/ES	BL/SFM	25,2	4,9	10,8	4,7
ES2	Bh2	50-80	Linhares/ES	BL/SFM	24,0	8,4	9,8	7,1
ES3	Bh1	23-50	Linhares/ES	BL/SFM	17,8	3,4	8,6	6,0
ES3	Bh2	50-80	Linhares/ES	BL/SFM	13,2	3,5	6,1	5,6
ES5	Bhsm1	100-120	Linhares/ES	BL/SFM	12,9	4,9	2,6	1,9
ES5	Bhsm2	120+	Linhares/ES	BL/SFM	8,6	4,6	4,6	0,1
ES7	Bhs	80-100	Vargem Alta/ES	I/Q	16,1	8,2	4,2	4,8
F1	Bh	-88	Cruzeiro do Sul/AC	I/SF	6,3	3,2	2,0	1,7
F2	Bh1	-69	Cruzeiro do Sul/AC	I/SF	10,0	3,7	3,5	3,4
F2	Bh2	-116	Cruzeiro do Sul/AC	I/SF	8,0	3,7	1,2	1,5
F2	Bh3	116-221	Cruzeiro do Sul/AC	I/SF	5,8	1,9	4,2	2,4
IB10	Bhs	40-55	Lima Duarte/MG	A/Q	23,0	2,7	7,3	5,2
IB13	Bh	-	Lima Duarte/MG	A/Q	13,3	2,6	3,7	6,5
P05	Bhs	110-115	Cururipe/AL	BL/SM	14,4	8,2	5,2	2,6
P1	Bh	63-71	Quissamã/RJ	BL/SM	24,3	1,3	17,5	4,5
P2	Bh1	75-95	Quissamã/RJ	BL/SM	36,0	1,2	18,5	3,8
P3	Bh2	101-122	Quissamã/RJ	BL/SM	40,1	1,1	30,0	11,2
P7	Bh1	41-58	Quissamã/RJ	BL/SM	24,5	0,9	16,8	3,5
P10	Bh1	45-60	Quissamã/RJ	BL/SM	23,5	0,1	22,8	5,4
P16	Bsm	90-135	Marechal Deodoro/AL	BL/SM	17,6	11,0	3,2	0,3
PR1	Bh2	150-180	Paranaguá/PR	BL/SM	7,1	4,4	1,4	1,5
PR2	Bh2	115-180	Paranaguá/PR	BL/SM	15,3	4,1	7,3	4,4
RO	Bhs1	28-42	Machadinho d' Oeste/RO	I/SF	10,6	2,9	2,0	3,3
RO	Bhs2	42-74	Machadinho d' Oeste/RO	I/SF	8,5	2,8	2,1	3,6
RO	Bhs3	74-130	Machadinho d' Oeste/RO	I/SF	5,6	1,1	2,0	0,7
RJ	Bh	40-65	Rio das Ostras/RJ	BL/SM	25,2	1,1	20,5	1,8
RJ5	Bhj	80-115	Rio de Janeiro/RJ	BL/SM	12,6	6,9	1,8	1,4
SP	Bhsj2	103-135	Cananéia/SP	BL/SM	17,1	2,6	14,4	0,1
TH04	Bhs	160-190	Apui/AM	I/SF	10,5	8,2	2,1	0,1
TS10	Bhs	250-300	Prado/BA	BL/SFM	20,6	2,1	14,1	0,1

¹A = Altomontano; I = Interior; BLT = Baixada Litorânea Tiomórfica; BL = Baixada Litorânea; SF = Sedimento Flúvico; SFM = Sedimento Flúvico Marinho; C = calcário; B = basalto; G = gnaiss; BI = baixada interior; Q = Quartzito; SM = Sedimento Marinho; C org = carbono orgânico; C-FAF: carbono da fração ácidos fúlvicos; C-FAH: carbono da fração ácidos húmicos; C-HUM: carbono da fração humina.

Nos solos, os teores de C org dos diferentes horizontes refletem a variabilidade da capacidade em acumular matéria orgânica. Essa variabilidade pode estar relacionada a diferenças da mineralogia, presença ou ausência de cátions e ânions, da distribuição das frações granulométricas e da estruturação (BALDOCK; SKJEMSTAD, 2000). Associados aos fatores apresentados anteriormente, somam-se aqueles relacionados principalmente à preservação da matéria orgânica, como a recalcitrância intrínseca dos componentes orgânicos, a oclusão física e a proteção química por interação com a superfície dos minerais e as variações ambientais (WANDER, 2004).

Segundo Driessen (2001), a acumulação de materiais orgânicos se dá em condições onde a produção e deposição de material vegetal excede a decomposição e a mineralização, sendo esta última retardada por baixas temperaturas, persistência de água no perfil, elevada acidez ou escassez de nutrientes. A variação dos teores de C org em horizontes de mesma classificação pode ser observada em diferentes trabalhos realizados pelo Brasil (Tabela 3).

Como exemplo das variáveis que interferem os teores de C org, os horizontes originados de materiais de natureza calcária, como o caso de alguns A chernozêmicos, o conteúdo de matéria orgânica tem influência do carbonato de cálcio, pois atua como floculante. Neste caso, as frações mais decompostas da matéria orgânica são precipitadas com o Ca^{2+} , o que diminui a solubilidade e torna limitada sua mineralização (DUCHAUFOR, 1976, 1977; SPAIN et al., 1983; GAIAFFE et al., 1984; OADES, 1988; MUNEER; OADES, 1989abc; SOMBROECK et al., 1993).

Tabela 3. Teor de carbono orgânico em horizontes diagnósticos de solos de diversos trabalhos realizados no Brasil.

C org (g kg ⁻¹)	Vegetação	Localização	Estado	Autoria
O hísticos				
165,0 – 335,0	Campo	Serra Geral	Santa Catarina	Volkoff et al. (1984)
95,0 – 520,0	Rupestre	Parque Estadual de Ibitipoca	Minas Gerais	Dias et al. (2003)
98,0 – 178,0	Rupestre	Serra da Mantiqueira e Espinhaço	Minas Gerais e Bahia	Benites et al. (2007)
H hísticos				
91,7 – 555,4	Diverso	Altimontana, planície costeira, planície e planaltos interiores	Diverso	Valladares et al. (2007)
121,0 – 442,0	Restinga	Ilha do Cardoso	São Paulo	Gomes et al. (2007)
A chernozêmicos				
6,5 – 22,8	Caatinga	Mossoró	Rio Grande do Norte	Volkoff & Cerri (1980)
25,1 – 50,4	Diverso	Passo do Ivo e Ibaré	Rio Grande do Sul	Pinto & Kämpf (1996)
10,5 – 19,9	Diverso	Irecê	Bahia	Cunha & Ribeiro (1998)
9,2 – 20,0	Diverso	Zona da Mata	Pernambuco	Miranda & Ferreira (1999)
5,7 – 22,8	Diverso	Diversa	Região Sul	Curcio et al. (2000)
8,1 – 55,1	Diverso	Patos de Minas	Minas Gerais	Ker et al. (2005)
20,6 – 23,8	Diverso	Diversa	Roraima	Melo & Schaefer (2009)
10,5 – 49,3	Diverso	Corumbá	Mato Grosso do Sul	Cardoso et al. (2012)
19,7 – 66,0	Diverso	Bodoquena	Mato Grosso do Sul	Pereira et al. (2013)
14,9 – 25,2	Pastagem	Pinheiral	Rio de Janeiro	Fontana et al. (2014)
A húmicos				
11,7 – 64,7	Floresta e Campo	Serra da Mantiqueira e Geral	Minas Gerais e Paraná	Volkoff et al. (1984)
14,4 – 39,3	Diverso	Diversa	Região Sul	Curcio et al. (2000)
15,0 – 71,0	Rupestre	Serra da Mantiqueira e Espinhaço	Minas Gerais e Bahia	Benites (2002)
12,4 – 61,4	Rupestre	Serra da Mantiqueira	Minas Gerais	Benites et al. (2003c)
9,0 – 68,0	Rupestre	Parque Estadual de Ibitipoca	Minas Gerais	Dias et al. (2003)
16,8 – 24,6	Diverso	Nova Lima	Minas Gerais	Ker et al. (2005)
15,3 – 35,1	Diverso	Planalto e Campos de Cima da Serra	Rio Grande do Sul	Dalmolin et al. (2006)
9,0 – 40,0	Pastagem	Sul de Minas	Minas Gerais	Silva et al. (2007)
5,9 – 68,9	Diverso	Diversa	Diverso	Calegari (2008)
16,2 – 52,1	Diverso	Diversa	Região Sul	Massignan et al. (2008)
B espódicos				
11,7 – 22,7	Campinarana	Manaus	Amazonas	Camargo & Rodrigues (1979)
3,9 – 83,0	Diverso	Tabuleiro Costeiro	Espírito Santo	Carvalho Filho et al. (1995)
1,8 – 43,2	Restinga	Litoral Norte	Rio de Janeiro	Gomes et al. (1998)
5,2 – 76,4	Rupestre	Serra da Mantiqueira e Espinhaço	Minas Gerais	Benites (1998)
2,0 – 85,0	Floresta	Parque Estadual da Serra do Mar	São Paulo	Rossi & Queiroz-Neto (2002)
2,3 – 43,2	Diverso	Diamantina	Minas Gerais	Schaefer et al. (2002)
7,0 – 34,0	Rupestre	Parque Estadual de Ibitipoca	Minas Gerais	Dias et al. (2003)
17,2 – 40,1	Restinga	Quissamã	Rio de Janeiro	Benites et al. (2003b)
3,6 – 64,2	Restinga	Ilha do Cardoso	São Paulo	Gomes et al. (2007)
11,0 – 43,0	Diverso	Rio Negro	Amazonas	Mafra et al. (2007)
9,0 – 51,0	Diverso	Tabuleiro Costeiro	Espírito Santo	Moreau et al. (2006)
2,0 – 48,4	Diverso	Tabuleiro Costeiro	Bahia	Oliveira et al. (2010)
2,0 – 50,9	Restinga	Litoral	São Paulo	Coelho et al. (2010)
3,5 – 25,5	Diverso	Tabuleiro Costeiro	Diverso	Silva et al. (2013)

C org = carbono orgânico.

Nos diversos solos, a presença de matéria orgânica se deve a formação de complexos organominerais estáveis entre os grupos funcionais ionizáveis da matéria orgânica e os minerais de argila, como óxidos de ferro e alumínio amorfos, que atuam como flocculantes na presença de Al^{3+} (SPAIN et al., 1983; OADES, 1988; SOMBROECK et al., 1993; BRUCKERT et al., 1994) ou pelas pontes entre os íons alumínio e ferro com os grupos funcionais da matéria orgânica (OADES, 1995; TOMBÁ CZ et al., 2004). Aos óxidos de ferro tem-se atribuído a participação ativa na agregação e estabilização dos agregados, ao se ligarem com cátions polivalentes como Al^{3+} , Fe^{3+} e Ca^{2+} (TOMBÁ CZ et al., 2004).

Distribuição das Frações Húmicas nos Horizontes Diagnósticos

Uma forma de estudo mais detalhada da matéria orgânica dos solos está relacionada à distribuição das frações húmicas, na qual é possível correlacionar à mobilidade ou estabilidade do material orgânico (FONTANA et al., 2010). As frações húmicas, obtidas a partir do fracionamento químico da matéria orgânica do solo é representada pela fração ácidos fúlvicos (FAF) – solúvel em qualquer valor de pH da solução; fração ácidos húmicos (FAH) – solúvel em meio alcalino e insolúvel em meio ácido diluído e; fração humina (HUM) – insolúvel e que permanece ligada a matriz mineral do solo (STEVENSON, 1994). As frações ácidos fúlvicos e ácidos húmicos, obtidas do extrato alcalino ($EA = FAH + FAF$) recebem a denominação de frações alcalinosolúveis.

Quanto às frações húmicas, os horizontes O e H hísticos apresentam o predomínio da HUM, seguida da FAH, associado a valores da relação FAH/FAF maiores que 2,0 (Tabela 4). Dentre os horizontes constituídos de material mineral, os A chernozêmicos se destacam pelo predomínio absoluto e menor amplitude da HUM (média de 71%), além de valores da relação EA/HUM menores que 0,5 (Tabela 4). Por outro lado, nos A húmicos, o predomínio da HUM é menos expressivo, com média de 47%, seguida pela FAH (média de 22%) (Tabela 4).

Tabela 4. Carbono orgânico e frações húmicas nos horizontes diagnósticos de solos de diversas regiões do Brasil.

Horizontes	C org	g kg ⁻¹			%			C-FAH/ C-FAF	C-EA/ C-HUM
		C-FAF	C-FAH	C-HUM	%FAF	%FAH	%HUM		
O hísticos (n=13)	133,3 ¹ (42,4) ²	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 hísticos (n=30)	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 chernozênicos (n=43)	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 húmicos (n=39)	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 espódicos (n=45)	15,4 (7,9)	3,7 (2,8)	7,6 (6,9)	3,1 (2,2)	30 (22)	44 (24)	22 (14)	9,9 (34,0)	16,5 (38,5)

¹Média; ² = Desvio padrão da média; n = número de horizontes analisados; C org: carbono orgânico do solo; C-FAF: carbono da fração ácidos fúlvicos; C-FAH: carbono da fração ácidos húmicos; C-HUM: carbono da fração humina; FAF: fração ácidos fúlvicos; FAH: fração ácidos húmicos; HUM: humina; EA = extrato alcalino (C-FAF + C-FAH).

O predomínio da HUM em horizontes orgânicos também foi relatado por Valladares et al. (2007), seguida pela FAH, assim como também observaram semelhança na relação FAH/FAF. Para horizontes H hísticos, Conceição et al. (1999) observaram valores médios de 82% para a HUM em solos da baixada litorânea do Rio de Janeiro. O predomínio da HUM em A chernozênicos foi relatado por Volkoff e Cerri (1980), Cunha e Ribeiro (1998), Miranda e Ferreira (1999) e Corrêa et al. (2003). Nos A húmicos, padrão semelhante ao aqui encontrado foi observado por Benites (1998, 2002), com o predomínio da HUM, seguida pela FAH. Diferindo deste, Volkoff et al. (1984) e Benites et al. (2000) identificaram o predomínio da HUM, seguida pela FAF.

Os baixos valores da FAF nos horizontes hísticos pode refletir a baixa taxa de humificação da matéria orgânica pelo excesso de água ou ainda a perda de matéria orgânica em condições de melhor drenagem. Variações na distribuição das frações húmicas nos horizontes hísticos podem indicar a heterogeneidade do material de origem, bem como a diferença da intensidade do processo de humificação da matéria orgânica (PEREIRA et al., 2005).

Os baixos valores da relação EA/HUM nos horizontes A chernozênicos são indicativos da forte relação entre a matéria orgânica e a matriz mineral, pela formação de complexos organominerais de elevada estabilidade, proporcio-

nada pela presença de cátions trocáveis, principalmente do Ca^{2+} . A participação expressiva deste cátion pode ser observada pelos valores na Tabela 1. Esta relação pode ser constatada em diferentes ensaios, nos quais destacaram o papel dos cátions trocáveis na estabilidade da estrutura e no aumento dos teores de matéria orgânica (WUDDIVIRA; CAMPS-ROACH, 2007; MAJZIK; TOMBÁ CZ, 2007ab; BONINI; ALVES, 2011; BRIEDS et al., 2012). Existem, ainda, diversas revisões e estudos de caso relacionadas à retenção, estabilização e proteção de matéria orgânica em solos elaboradas por Brydon e Sowden (1959), Oades (1988), Kononova (1984), Duchaufour (1976), Greenland et al. (1992), Sollins et al. (1996), Baldock e Skjemstad (2000), Tipping (2002), Buurman et al. (2002), Eusterhues et al. (2003), Bronick e Lal (2005), Grünewald et al. (2006), Virto et al. (2011).

Diferentemente dos dados anteriormente apresentados, os horizontes B espódicos apresentam o predomínio da FAF e FAH (frações alcalinosolúveis), sendo a FAH com média de 44% e a FAF de 30%. Desta forma, inversamente aos A chernozêmicos, os valores da relação EA/HUM são maiores que 2,0 (Tabela 4).

Distribuição semelhante em horizontes B espódicos foi observada em regiões altimontanas por Benites (2002) e Schaefer et al. (2002), com o predomínio da FAH (média de 60%), seguida da FAF, e no litoral norte do estado do Rio de Janeiro, com predomínio alternado entre FAH e FAF (GOMES et al., 1998). No entanto, na região da serra da Mantiqueira, no estado de Minas Gerais, Benites (1998) observou maiores valores da FAF, seguida da FAH. Outro padrão foi encontrado em solos da região norte do Rio de Janeiro, com predomínio FAH (média de 58%), seguida da HUM (BENITES et al., 2003b).

As variações das frações húmicas refletem as condições do pedoambiente, principalmente do grau de humificação e da formação de complexos organometálicos, bem como da drenagem dos solos, uma vez destacado as variáveis relacionadas aos teores de C org apresentadas anteriormente. Ainda, postula-se que o alto valor da relação EA/HUM é indicativo da movimentação das frações alcalinosolúveis pelo perfil de solo e do surgimento de zonas de acúmulo de carbono orgânico em subsuperfície. Esse padrão se deve à solubili-

dade dos ácidos fúlvicos e húmicos, com maior mobilidade para os primeiros, que percolam no perfil, enquanto a humina, por sua natureza pouco solúvel, concentra-se nas camadas superficiais dos solos (BENITES et al., 2001).

Análise Integrada dos Dados

A análise integrada dos dados permite avaliar os horizontes diagnósticos de forma a detalhar as peculiaridades que ocorrem entre os indivíduos de mesma classificação. Assim, para o estudo, apresenta-se a análise de componentes principais, com a distribuição dos horizontes e variáveis em gráficos bidimensionais.

Pela distribuição dos escores dos horizontes nos componentes principais (CP1 e CP2), a partir dos teores de C org, frações húmicas e atributos químicos, observa-se os O e H hísticos espalhados e sobrepostos (Figura 1), enquanto os A húmicos e B espódicos mais agrupados e também sobrepostos. Os A chernozêmicos também estão agrupados e com poucos exemplares dos horizontes O e H hísticos e A húmicos (Figura 1).

A separação dos horizontes A húmicos e B espódicos se deve principalmente pela saturação por alumínio (m) (CP1) e A chernozêmicos pela %HUM, pH, Ca^{2+} , Mg^{2+} e V% (CP1), enquanto dos horizontes O e H hísticos aos teores de C org, frações húmicas e CTC (CP2). A ordenação dos horizontes em detrimento às variáveis reforça as observações apresentadas quanto à distribuição do C org, as relações com as frações húmicas e os atributos químicos já apresentados anteriormente em cada tipo de horizonte diagnóstico estudado. Ainda, a distribuição dos atributos químicos de forma oposta no CP1, reflete a dinâmica dos elementos químicos no solo (cátions trocáveis como Ca^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+}) e suas relações com o pH, a saturação por bases e por alumínio.

Em uma análise dos horizontes diagnósticos tendo como variáveis aquelas relacionadas ao componente orgânico (C org e frações húmicas), observa-se menor espalhamento, todavia ainda sobrepostos os O e H hísticos (Figura 2), em detrimento ao uso de todas as variáveis (Figura 1). No entanto, estão mais isolados os horizontes A chernozêmicos e B espódicos, enquanto os A húmicos estão no centro entre os demais tipos de horizontes (Figura 2). Poucos A húmicos estão juntos com A chernozêmicos e B espódicos.

Assim como na Figura 1, a separação dos horizontes O e H hísticos se deve principalmente pelos teores de C org e frações húmicas (CP1), enquanto nos A chernozênicos relaciona-se com a %HUM (CP2) e os B espódicos a %FAH e a EA/HUM (CP2). Mesmo em posição central, porém isolados, os horizontes A húmicos estão relacionados em parte com a %HUM e outra com a %FAH e EA/HUM. Estas relações e participação do componente orgânico (C org e frações húmicas) foi apresentado anteriormente nas discussões quando apresentados os dados das referidas variáveis em cada horizonte diagnóstico.

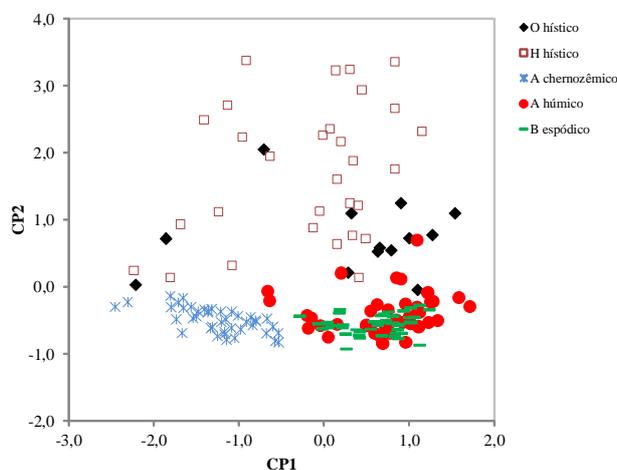


Figura 1. Distribuição dos horizontes diagnósticos nos componentes principais com base no C org, nas frações húmicas e nos atributos químicos.

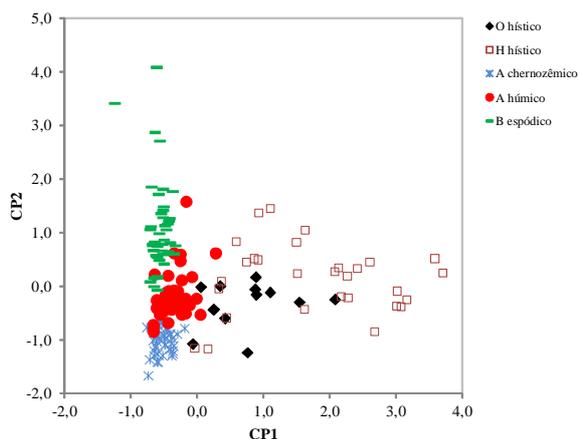


Figura 2. Distribuição dos horizontes diagnósticos nos componentes principais com base no C org e nas frações húmicas.

Conclusões

Os teores de carbono orgânico nos horizontes variam na seguinte ordem: H hísticos > O hísticos > A húmicos > A chernozêmicos > B espódicos.

Nas frações húmicas, os horizontes O e H hísticos apresentam o predomínio da HUM e valores da relação FAH/FAF maiores que 2,0; os A chernozêmicos tem predomínio absoluto da HUM e com média de 71%; nos A húmicos o predomínio da HUM, porém menos expressivo que os A chernozêmicos, enquanto, os B espódicos apresentam o predomínio da FAF e FAH.

A análise multivariada foi eficiente para a separação dos horizontes, destacando os teores de carbono orgânico e as frações húmicas com melhor agrupamento e separação dos tipos de horizonte quando comparado à análise que foi adicionado os atributos químicos.

Referências

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**. 2ª Ed. Porto Alegre: Metrópole, p.65-86. 2008.

ARAÚJO, M.S.B.; SCHAEFER, C.E.; SAMPAIO, E.V.S.B.. O processo de formação dos Espodossolos e o transporte de fósforo associado. **Revista de Geografia**, v.23, p.53-64, 2006.

BALDOCK, J.A.; SKJEMSTAD, J.O. Role of soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, v.31, p.697-710, 2000.

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**. 1998. 123p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.

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. Guia de excursão de estudos de solos nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Embrapa, IAC, 2000, 222p. **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). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.661-674, 2001.

BENITES, V.M. **Caracterização de solos e das substâncias húmicas em Complexo Rupestre de Altitude.** 2002. 83p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

BENITES, V.M.; CUNHA, T.J.F.; FERRAZ, R.P.D.; CAIAFA, A.N.; SIMAS, F.N.; SÁ MENDONÇA, E. Caracterização dos solos em duas toposseqüências sobre diferentes litologias em áreas altimontanas na Serra da Mantiqueira. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003a. 7p. **Embrapa Solos. Documentos, 57.**

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, SP. **Resumo em anais e em CD-ROM**, Viçosa, MG, SBCS, 2003b.

BENITES, V.M.; CUNHA, T.J.F.; FERRAS, R.P.D.; CAIAFA, A.N.; SIMAS, F.N.; MENDONÇA, E.S. Caracterização dos Solos em Duas Toposseqüências sobre Diferentes Litologias em Áreas Altimontanas na Serra da Mantiqueira. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003c. 31p. (**Embrapa Solos. Documentos; nº 57**).

BENITES, V.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; SIMAS, F.N.B.; SANTOS, H.G. Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. **Revista Brasileira de Botânica**, v.30, p.569-577, 2007.

BONINI, C.S.B.; ALVES, M.C. Estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho degradado em recuperação com adubos verdes, calcário e gesso. **Revista Brasileira de Botânica**, v.35, p.1263-1270, 2011.

BRIEDIS, C.; SÁ, J.C.M; CAIRES, E.F.; NAVARRO, J.F.; INAGAKI, T.M.; BOER, A.; NETO, C.; FERREIRA, A.O.; CANALLI, L.B; SANTOS, J.B. Soil organic matter pools and carbon-protection mechanisms in aggregate classes influenced by surface liming in a no-till system. **Geoderma**, v.170, p.80–88, 2012.

BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, v.124, p.3-22, 2005.

BRUCKERT, S.; GAIFFE, M.; BLONÉ, J.L.; PORTAL, J.M. Fractionnement de la matière organique et analyse des composés humiques des sols calcimagnésiques humifères de Jura (France). **Geoderma**, v.61, p.269-280, 1994.

BRYDON, J.E.; SOWDEN, J.E. A study of clay-humus complexes of a Chernozemic and Podzol soil. **Canadian Journal of Soil Science**. v.39, p.136-143, 1959.

BUOL, S.W.; HOLE, F.D.; McCracken, R.J. **Soil genesis and classification**. Ames: Iowa State University Press, 1980, 404p.

BUURMAN, P., van LAGEN, B., PICCOLO, A. Increase in stability against thermal oxidation of soil humic substances as a result of self association. **Organic Geochemistry**, v.33, 367–381, 2002.

CALEGARI, M.R. **Ocorrência e significado paleoambiental do horizonte a húmico em Latossolos**. 259p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

CAMARGO, M.N.; RODRIGUES, T.E. **Guia de excursão**. XVII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Manaus, 1979.

CARDOSO, L.E.; CRISPIM, S.M.A.; FILHO, A.C.; LUMBRERAS, J.F.; MOTTA, P.E.F.; ARAÚJO, A.R.; FERNANDES, A.H.B.M.; JACOMINE, P.K.T.; FERNANDES, F.A.; COELHO, M.R.; CALDERANO, S.B.; SHINZATO, E.; SOARES, M.T.S. **X Reunião Brasileira de Classificação de Solos: Pantanal e Cerrado**. Guia de Campo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012.

CARVALHO FILHO, A.; KER, J.C.; GOMES, I.A. **Reunião de classificação, correlação e aplicação de levantamento de solos**. Anais da IV Reunião de classificação, correlação e aplicação de levantamento de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1995, 157p.

COELHO, M.R.; VIDAL-TORRADO, P.; PÉREZ, X.L.O.; MARTINS, V.M.; VÁSQUEZ, F.M. Química e gênese de solos desenvolvidos sob vegetação de restinga no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1951-1964, 2010.

CONCEIÇÃO, M.; FREIXO, A.A.; ARAÚJO, W.S.; CUNHA, T.J.F.; NETO, L.M.; SAAB, S.C. Caracterização das substâncias húmicas em solos orgânicos do estado do Rio de Janeiro, sob diversas atividades agrícolas. **Pesquisa em Andamento**, n.5, p.1-6, 1999.

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). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.311-324, 2003.

CUNHA, T.J.F.; RIBEIRO, L.P. Qualidade e relações pedogenéticas da matéria orgânica de alguns solos da região de Irecê (BA). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.693-704, 1998.

CURCIO, G.R.; CARVALHO, A.P.; BOGNOLA, I.A.; ROSSI, M.; COELHO, M.R. **VI RCC - Reunião de correlação, classificação e aplicação de levantamentos de solos RS/SC/PR**. In: Guia de excursão de estudos de solos nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Embrapa, IAC, 2000, (Embrapa Florestas, 222p.)

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. **European Journal of Soil Science**, v.7, p.644-654, 2006.

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). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.469-481, 2003.

DRIESSEN, P. Lecture notes on the major soils of the world. Roma, FAO, 2001. **World Soil Resources Reports**, 94, 2001.

DUCHAUFOR, P., 1976. Dynamics of organic matter in soil of temperate regions: its action on pedogenesis. **Geoderma**, v.15, p.31-40, 1976.

DUCHAUFOR, P. **Pedology**. London: George Allen & Unwin Pub. Inc., 1977, 448p.

EHRlich, H.L. **Geomicrobiology**. New York: Marcel Dekker Inc., 1990, 646p.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, 1997, 212p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3ª ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2013, 353p.

EUSTERHUES, K.; RUMPEL, C.; KLEBER, M.; INGRID KÖGEL-KNABNER, I. Stabilisation of soil organic matter by interactions with minerals as revealed by mineral dissolution and oxidative degradation. **Organic Geochemistry**, v.34, p.1591–1600, 2003.

FANNING, D.S.; FANNING, M.C.B. **Soil morphology, genesis, and classification**. EUA: John Wiley & Sons, 1989, 395p.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; BENITES, V.M. Quantificação e utilização das frações húmicas como característica diferencial em horizontes diagnósticos de solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1241-1247, 2010.

FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; SANTOS, A.C.; BERNINI, T.A. Matéria orgânica de horizontes superficiais em toplotossequências em ambiente de Mar de Morros, Pinheiral, RJ. **Revista Ciência Agronômica**, v.45, p.221-229, 2014.

GAIFFE, M.; DUQUET, G.; TAVANT, H.; TAVANT, Y.; BRUCKERT, S. Stabilité biologique et comportement physique d'un complet argilo-humic placé dans différentes condition de saturation en calcium ou en potassium. **Plant and Soil**, v.77, p.271-284, 1984.

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. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.11, 1998.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.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**. SSSA Special Publication n.29. Wisconsin: Copyright, p.17-33, 1992.

GRÜNEWALD, G.; KAISER, K.; JAHN, R.; GUGGENBERGER, G. Organic matter stabilization in young calcareous soils as revealed by density fractionation and analysis of lignin-derived constitution. **Organic Geochemistry**, v.27, p.1573-1589, 2006.

JENNY, H. **Factors of soil formation**. Mac Graw Hill, New York USA, 1941, 281p.

KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in southern Brazil and their application in classification of kaolinite soils. **Geoderma**, v.29, p.27-39. 1983.

KÄMPF N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (pedogênese). In: KER, J.C; CURI, N. SCHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P., eds. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa, MG, SBCS, 2012, 343p.

KER, J.C.; FILHO, A.C.; OLIVEIRA, C.V.; SANTOS, H.G. **VII Reunião nacional de correlação e classificação de solos – MG**. Guia de excursão. UFV, Embrapa Solos e UFMG, 2005.

KONONOVA, M.M. Current problems in the study of organic matter accumulation in soils under anaerobiosis. **Soil Science**, v.137, p. 419-427, 1984.

KONONOVA, M.M. **Soil organic matter. Its nature, its role in soil formation and in soil fertility**. 2nd ed. Pergamon Press, Oxford, UK. 1966.

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**, v.138, p.170-176, 2007.

MAJZIK, A.; TOMBÁ CZ, E. Interaction between humic acid and montmorillonite in the presence of calcium ions I. Interfacial and aqueous phase equilibria: Adsorption and complexation. **Organic Geochemistry**, v.38, p.1319-1329, 2007a.

MAJZIK, A.; TOMBÁ CZ, E. Interaction between humic acid and montmorillonite in the presence of calcium ions II. Colloidal interactions: Charge state, dispersing and/or aggregation of particles in suspension. **Organic Geochemistry**, v.38, p.1330–1340, 2007b.

MASSIGNAN, A.; BACIC, I.L.Z.; ALMEIDA, J.A.; OLIVEIRA, J.B.; KER, J.C.; LAUS NETO, J.A.; GARCINDO, L.B.; PUNDECK, M. **VIII RCC - Reunião nacional de correlação e classificação de solos Santa Catarina**. Guia de Excursão, Epagri e Embrapa Solos, 2008.

MELO, V.F.; SCHAEFER, C.E.G.R. Matéria orgânica em solos desenvolvidos de rochas máficas no noroeste de Roraima. **Acta Amazônica**, v.39, p.53-60, 2009.

MIRANDA, C.S.S.; FERREIRA, M.G.V.X. Caracterização de solos com A chernozêmico na zona da mata norte do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.107-120, 1999.

MOREAU, A.M.S.S.; KER, L.M.C.; GOMES, F.H. Caracterização de solos de duas topossequências em tabuleiros costeiros do sul da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.1007-1019, 2006.

MUNEER, M.; OADES, J.M. The role of Ca-organic inter-actions in soil aggregate stability 1. Laboratory studies with ^{14}C -glucose, CaCO_3 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. **Australian Journal of Soil Research**, v.27, p.389-399, 1989a.

MUNEER, M.; OADES, J.M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability 2. Field studies with ^{14}C -labelled straw, CaCO_3 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. **Australian Journal of Soil Research**, v.27, p.401-409, 1989b.

MUNEER, M.; OADES, J.M. The role of Ca-organic inter-actions in soil aggregate stability 3. Mechanisms and models. **Australian Journal of Soil Research**, v.27, p.411-423, 1989c.

OADES, J.M. The retention of organic matter in soils. **Biogeochemistry**, v.5, p.35-70, 1988.

OADES, J.M. Recent advances in organomineral interactions: implications for carbon cycling and soil structure. In: Huang, P.M. et al. (Eds) **Environmental impact of soil component interactions**. Boca Raton: Lewis Publishers, 119-134, 1995.

OLIVEIRA, A.P.; KER, J.C.; SILVA, I.R.; FONTES, M.P.F.; OLIVEIRA, A. P.; NEVES, A.T.G. Spodosols pedogenesis under Barreiras formation and sandbank environments in the south of Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.847-860, 2010.

PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Formas extraíveis de ferro em solos do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.371-382, 1999.

PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; VALLADARES, G.S. **Organossolos: ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo**. In: Tópicos em Ciência do Solo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.4, p.145-276, 2005.

PEREIRA, M.G.; SCHIAVO, J.A.; FONTANA, A.; DIAS NETO, A.H.; MIRANDA, L.P. Caracterização e classificação de solos em uma toposequência sobre calcário na Serra da Bodoquena, MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.25-36, 2013.

PINTO, L.F.S.; KÄMPF, N. Solos derivados de rochas ultrabásicas no ambiente subtropical do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.447-458, 1996.

ROSSI, M.; QUEIROZ NETO, J.P. Evolução de Espodossolo Ferrocárbico em Gleissolo Háplico no planalto da Serra do Mar, rio Guaratuba (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.407-415, 2002.

RIBEIRO, M.R.; OLIVEIRA, L.B.; ARAÚJO FILHO, J.C. Caracterização morfológica do solo. In: KER, J.C; CURI, N. SCHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P., eds. **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa, MG, SBCS, 2012, 343p.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6ª edição. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013, 100p.

SCHAEFER, C.E.R.; KER, J.C.; GILKES R.J.; CAMPOS J.C.; COSTA L.M. DA; SAADI, A. Pedogenesis on the uplands of the Diamantina Plateau, Minas Gerais, Brazil: a chemical and micropedological study. **Geoderma**, v.107, p.243-269, 2002.

SILVA, A.C.; VIDAL TORRADO, P.; GONZÁLEZ PEREZ, M. MARTIN NETO, L.; VASQUES, F.M. Relações entre matéria orgânica do solo e declividade de vertentes em toposseqüência de Latossolos do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1059-1068, 2007.

SILVA, E.A.; GOMES, J.B.V.; ARAÚJO FILHO, J.C.; SILVA, C.A.; CARVALHO, S.A. CURI, N. podzolização em solos de áreas de depressão de topo dos tabuleiros costeiros do nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.11-24, 2013.

SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K. Soil structure and soil organic matter: II. A normalized stability index and the effect of mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.1042– 1049, 2000.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B.A. Stabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, v.74, p.65-105, 1996.

SOMBROECK, W.G.; NACHTERGAELE, F.O.; HEBEL, A. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. **Ambio**, v.22, p.417–426, 1993.

SPAIN, A.V.; ISBELL, R.F.; PROBERT, M.E. **Soil organic matter**. In: Soils, an Australian Viewpoint. CSIRO, Melbourne, Australia/Academic Press, London, UK, 551-563, 1983.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: Genesis, composition, reactions**. 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc., New York, NY, 1994.

THENG, B.K.G. **Formation and properties of clay-polymer complexes**. Elsevier Science Publishing Co., New York. 1979.

TIPPING, E. **Cation binding by humic substances**. Cambridge University Press, Cambridge. 2002

TOMBÁ CZ, E.; ZSUZSANNA LIBOR, Z.; ILLÉS, E.; ANDREA MAJZIK, A.; ERWIN KLUMPP, E. The role of reactive surface sites and complexation by humic acids in the interaction of clay mineral and iron oxide particles. **Organic Geochemistry**, v.35, p.257–267, 2004.

TYURIN, I.V. **Regularidades geográficas de la formación del húmus. Trudy Yubil. sessii posviasch. stoletiu so dnia rozhdenia.** V.V Dokuchayeva, Azid-vo NA SSSR, 1949.

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. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.38, p.763–777, 2007.

VIRTO, I.; GARTZIA-BENGOETXEA, N.; FERNÁNDEZ-UGALDE, O. Role of organic matter and carbonates in soil aggregation estimated using laser diffractometry. **Pedosphere**, v.21, p.566-572, 2011.

VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. Comparação do húmus de um Solontchak, um rendzina e um solo litólico da região semi-árida do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.4, p.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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, p.277-283, 1984.

WANDER, M. M. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. *In*: MAGDOFF, F.; WEIL, R. **Advances in Agroecology**, CRC Press LLC, 2004. p. 67-102.

WUDDIVIRA, M.N.; CAMPS-ROACH, G. Effects of organic matter and calcium on soil structural stability. **European Journal of Soil Science**, v.58, p.722–727, 2007.

Embrapa

Solos