

SEÇÃO V - GÊNESE, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

SUBSTÂNCIAS HÚMICAS COMO SUPORTE À CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS BRASILEIROS⁽¹⁾

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

RESUMO

As substâncias húmicas que compõem a matéria orgânica do solo participam de forma ativa dos processos pedogenéticos do solo, em especial dos horizontes diagnósticos O e H hístico, A chernozêmico, A húmico e B espódico. Este trabalho teve como objetivo determinar o teor de C orgânico das substâncias húmicas e avaliar sua influência na separação de horizontes diagnósticos. Foram utilizados 56 horizontes diagnósticos de diferentes regiões do Brasil, 52 superficiais (H hístico, A chernozêmico, A proeminente, A húmico e A moderado) e quatro subsuperficiais (B espódico). Nesses solos, foram feitas a caracterização química e física, e também de C orgânico, da fração ácidos fúlvicos (C-FAF), fração ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-HUM), as relações C-FAH/C-FAF e C-EA/C-HUM (C-EA = C-FAF + C-FAH) e a percentagem das frações em relação ao C orgânico total (COT), sendo as variáveis submetidas à avaliação por análises multivariadas. Nos horizontes orgânicos, o H hístico apresentou maiores valores e equilíbrio entre o C-HUM e o C-FAH. Na maioria dos horizontes minerais, observou-se predomínio do C-HUM, seguido pelo C-FAH nos horizontes A chernozêmico e A húmico e pelo C-FAF nos horizontes A proeminente e A moderado. Nos horizontes B espódico, foi observado predomínio variável de C-FAF e C-FAH. Com a análise de variáveis canônicas, identificaram-se as variáveis que poderiam ser utilizadas para a separação dos tipos de horizontes diagnósticos. Usando a análise de agrupamento, separaram-se os tipos de horizontes com menor influência da matéria orgânica. Pela análise discriminante, obtiveram-se resultados satisfatórios na classificação dos horizontes diagnósticos com base nas variáveis das substâncias húmicas, quando comparados à classificação original. Os resultados das análises multivariadas indicam que a distribuição do C das substâncias húmicas pode ser utilizada para separar os tipos de horizontes diagnósticos ricos em C orgânico.

Termos de indexação: fracionamento químico, horizontes diagnósticos, análises multivariadas.

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. Recebido para publicação em julho de 2007 e aprovado em agosto de 2008.

⁽²⁾ Doutorando do Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ. CEP 23890-000 Seropédica (RJ). Bolsista CNPq. E-mail: ademir.fontana@gmail.com

⁽³⁾ Pesquisador, Embrapa Solos. Jardim Botânico 1024, CEP 22460-000 Rio de Janeiro (RJ). E-mail: vinicius@cnps.embrapa.br

⁽⁴⁾ Professor Associado I, Departamento de Solos, UFRRJ. E-mails: gervasio@ufrj.br; lanjosh@ufrj.br

SUMMARY: HUMIC SUBSTANCES IN SUPPORT OF THE BRAZILIAN SOIL CLASSIFICATION

The humic substances that compose the soil organic matter participate actively in the pedogenetic soil processes, particularly in the Histic (Histic), Mollic (Chernozemic), Umbric (Humic) and Spodic (Spodic) diagnostic horizons. This study aimed to determine organic C amounts in the soil humic substances and evaluate their applicability for diagnostic horizons recognition. Fifty-six diagnostic soil horizons from different Brazilian regions were used, 52 from surface horizons or epipedons (H histic, A mollic, A proeminent, A humic and A moderate) and four subsurface (B spodic). Soil chemical and physical properties and the organic C amounts in the fulvic acid fraction (C-FAF), humic acid fraction (C-HAF) and humin (C-HUM) were determined by well-established methods. The C-HAF/C-FAF ratio and C-AE/C-HUM ratio ($C-AE = C-FAF + C-HAF$) and the percentage of each fraction in the total organic C (TOC) were calculated and all data were submitted to multivariate analysis. In the organic horizon, the amounts of H histic were highest and C-HUM and C-HAF amounts similar. C-HUM was predominant in the major mineral horizons, followed by C-HAF in the A mollic and A humic horizons, and by C-FAF in the A proeminent and A moderate horizons. A greater proportion of either C-FAF or C-HAF were observed in B spodic horizons. Based on canonical analysis, we identified the variables that could be used to separate diagnostic horizon types. The horizons with low influence of organic matter were distinguished from those with greater influence by cluster analysis. With the discriminatory analysis, satisfactory results were obtained for the classification of diagnostic horizons based on humic substance variables, compared to the standard classification. Multivariate analysis indicates that the distribution of C in the humic substances can be used to separate C-rich diagnostic horizon types of tropical soils in Brazil.

Index terms: Chemical fractionating, diagnostic horizons, multivariate analysis.

INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo por meio de seus compostos, como as substâncias húmicas e, ou, frações húmicas, pode influenciar diferentes características dos solos: (a) favorecer o intemperismo de minerais, acelerando ou retardando a neoformação de minerais secundários (Ehrlich, 1990); (b) reduzir o grau de cristalinidade de óxidos de Fe (Pereira & Anjos, 1999); (c) promover modificações nas relações hematita/goethita (Kämpf & Schwertman, 1983); e (d) atuar em processos pedogenéticos (Duchaufour, 1977; Buol et al., 1980; Fanning & Fanning, 1989).

Para Buol et al. (1980) o processo de formação do horizonte B espódico é um exemplo clássico da influência das substâncias húmicas na gênese dos solos, onde o material orgânico humificado dos horizontes superficiais que formam complexos organometálicos com íons Al e Fe, é eluviado ao longo do perfil formando os horizontes Bh ou Bhs em subsuperfície. Gomes et al. (1998); Benites et al. (2001) observaram a ação positiva e intensa das substâncias húmicas mais solúveis, como os ácidos fúlvicos no processo de queluviação e transporte de cátions metálicos em perfis de Espodossolos. Como evidência do movimento e acúmulo da matéria orgânica nesses horizontes, é possível observar a presença de material orgânico, complexos orgânicos revestindo grãos de

quartzo ou formando pontes que interligam minerais da fração areia (Coninck & McKeague, 1985; Schaefer et al., 2002).

Avaliando solos formados sob calcário, Cunha & Ribeiro (1998) constataram, no horizonte A chernozêmico, que compostos de alto grau de polimerização na matéria orgânica do solo atuavam como agente estabilizador dos agregados do solo. Volkoff (1980); Volkoff & Cerri (1981) relataram que a composição mineralógica com argilas 2:1, associada às condições do meio, com complexo sortivo apresentando predomínio de bases, favorece a polimerização das moléculas orgânicas em substâncias altamente condensadas e pouco móveis, que atuam no processo de cimentação e estabilização dos agregados. Corrêa et al. (2003) verificaram o efeito dos cátions alcalinos e alcalino-terrosos na estabilidade das frações húmicas com a matriz do solo, relatando a participação de humatos e fulvatos de Ca e Mg na estabilização da matéria orgânica. Para os Organossolos e outros solos com horizontes O ou H hístico, é de suma importância o conhecimento da dinâmica da matéria orgânica e das modificações que ocorrem nestes horizontes, principalmente das substâncias húmicas, quando submetidos ao cultivo (Conceição, 1989; Mendonça, 1999; Valladares, 2003).

A utilização e importância dos teores de C orgânico das substâncias húmicas, obtidos a partir do

fracionamento químico da matéria orgânica do solo, para o estudo de horizontes diagnósticos de solos do Brasil, foram registradas no trabalho de Valladares et al. (2003) e destacadas na 2ª edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) para a ordem dos Organossolos (Embrapa, 2006).

Para que as diversas variáveis obtidas a partir da quantificação das substâncias húmicas possam ser avaliadas, busca-se, com auxílio de técnicas estatísticas multivariadas, univariadas paramétricas e não-paramétricas, medidas de tendência central e desvio-padrão da média, ordenar os horizontes diagnósticos e selecionar variáveis que podem separar os diferentes horizontes diagnósticos, além de poderem ser utilizadas para a caracterização dentro de cada tipo de horizonte. A utilização dessas técnicas em estudos de pedologia tem sido destacada em trabalhos de Benites (2002), Valladares (2003) e Gomes et al. (2004).

Este trabalho teve como objetivo determinar o teor de C orgânico das substâncias húmicas e avaliar sua influência na separação de horizontes diagnósticos.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização dos horizontes diagnósticos

Foram utilizados 56 horizontes diagnósticos de solos, coletados em diferentes regiões do Brasil, sendo 52 horizontes superficiais (H hístico, A chernozêmico, A húmico e A moderado) e quatro horizontes subsuperficiais (B espódico), classificados com base no SiBCS (Embrapa, 1999; Santos et al., 2003) e analisados segundo Embrapa (1997) (Quadro 1). Esses horizontes diagnósticos foram selecionados por apresentarem maior influência da matéria orgânica na formação e diferenciação do solo (Anjos et al., 1999).

Fracionamento químico e quantificação do carbono orgânico

As substâncias húmicas foram identificadas segundo técnica de solubilidade diferencial estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Swift, 1996) e adaptada por Benites et al. (2003a). Foram quantificados os teores de C orgânico das frações ácidos fúlvicos (C-FAF), ácidos húmicos (C-FAH) e humina (C-HUM). Foram calculadas as relações C-FAH/C-FAF e C-EA/C-HUM ($C-EA = C-FAF + C-FAH$) (Benites et al., 2003a) e o percentual de cada fração em relação ao C orgânico total (COT).

Para o C-HUM, para os horizontes diagnósticos H hístico principalmente, não se fez inferência a material orgânico com alto grau de humificação e, ou, elevada estabilidade, pois, durante sua obtenção, parte do material orgânico leve foi contabilizado, devido à sua insolubilidade em meio alcalino, o que se deve levar em consideração em caso de comparação com outras frações e horizontes.

Análises estatísticas

Foram realizadas análises multivariadas utilizando as variáveis C-FAF, C-FAH e C-HUM, %FAF, %FAH, %HUM, as relações C-FAH/C-FAF e C-EA/C-HUM. Essas variáveis foram submetidas à análise de variáveis canônicas pelo programa estatístico SAS; análise de agrupamentos hierárquicos pelo programa estatístico XLstat; análise discriminante pelo programa estatístico Statistica e análise do desvio-padrão das médias. Os dados utilizados na análise de agrupamento foram padronizados obtendo-se média igual a zero e variância 1,0 (Morrison, 1976).

A proposta de utilização das técnicas estatísticas citadas anteriormente, análise exploratória, contribuiu para o melhor entendimento da distribuição das substâncias húmicas nos diferentes tipos de horizontes e da potencialidade de utilização para separar diferentes horizontes diagnósticos, pois permitem considerar simultaneamente a variabilidade entre todas as variáveis estudadas.

Pela análise de variáveis canônicas, procurou-se capturar o efeito simultâneo das variáveis a partir de combinações lineares denominadas variáveis canônicas (Khattree & Naik, 2000) e assim estabelecer quais variáveis poderiam discriminar os tipos de horizontes diagnósticos. Com a análise de agrupamento, buscou-se analisar as similaridades entre os tipos de horizontes diagnósticos a partir de agrupamentos homogêneos representados em um dendograma de similaridade (Regazzi, 2000). Por fim, buscou-se, com a análise discriminante, classificar os horizontes diagnósticos com base nas variáveis das substâncias húmicas e funções discriminantes, comparando-se com a classificação original (Khattree & Naik, 2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de COT dos diferentes horizontes diagnósticos apresentaram ampla variação, com valores entre 7,1 e 73,0 g kg⁻¹ para os horizontes minerais e entre 88,3 e 567,2 g kg⁻¹ nos horizontes orgânicos, sendo os teores médios decrescentes na seguinte ordem: H hístico > A húmico > A chernozêmico > A moderado > A proeminente > B espódico (Quadro 2).

Para as substâncias húmicas (Quadro 2), no horizonte orgânico H hístico, foi observada distribuição equilibrada entre o C-HUM (16,5 e 224,5 g kg⁻¹) e o C-FAH (8,3 e 193,4 g kg⁻¹), sendo essas frações com maiores valores quando comparadas às de C-FAF (3,8 a 32,7 g kg⁻¹). Para os horizontes minerais, a maioria apresentou o predomínio do C-HUM, com valores entre 0,5 e 36,8 g kg⁻¹, sendo para os horizontes superficiais A chernozêmico e A húmico o C-FAH (1,5 a 39,3 g kg⁻¹) como a segunda fração de maior expressão, sendo seguida pelo C-FAF (1,4 a 6,3 g kg⁻¹).

Quadro 1. Caracterização dos horizontes diagnósticos estudados

Perfil	Horizonte	Município/Estado	Prof	pH	Al ³⁺	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	H	CTC	Argila
			cm	H ₂ O		cmol _c kg ⁻¹			g kg ⁻¹
Horizontes H histórico									
AE19	H	/MS	0-20	7,1	0,0	27,5	3,3	31,21	-
AL1	Hop1	Jequiá da Praia/AL	0-27	4,4	0,6	2,6	11,3	14,90	-
AL2	Hdop j1	Coruripe/AL	0-23	3,0	6,0	2,0	43,2	51,66	-
BA2	Hdj	Ituberá/BA	0-15	3,4	3,2	9,2	75,6	88,30	-
BA2	Hdoj1	Ituberá/BA	15-32	3,2	3,8	8,0	64,1	72,20	-
BA3	Hdopj1	Trancoso/BA	0-14	3,6	1,6	11,6	43,3	57,20	-
DF1	Hd1	GuraraII/DF	0-26	5,9	0,0	5,3	12,2	33,26	-
ES1	Hdp1	Mimoso do Sul/ES	0-10	4,0	0,8	2,2	20,5	24,10	-
MG2	Hdo1	Coronel Pacheco/MG	0-20	5,1	1,3	1,2	11,9	15,28	-
MS2	Hd	Eldorado/MS	150-180	4,3	2,2	3,4	32,3	40,70	-
PMRO9	H	Rio das Ostras/RJ	0-16	6,4	0,0	22,0	11,1	33,66	-
RJ3	Hdo1	São José da Boa Morte/RJ	0-25	5,3	2,4	26,9	18,9	47,74	-
RJ5	Ho1	Rio de Janeiro/RJ	0-10	3,2	6,5	8,1	41,9	100,80	-
RS1	Hdp	Cambará do Sul/RS	0-10	5,4	1,4	7,4	38,1	47,18	-
SC1	H1	Gravatal/SC	0-17	4,5	0,3	16,8	19,1	36,44	-
SC1	H2	Gravatal/SC	17-67	4,6	0,6	22,5	15,8	39,68	-
SC 2	Hdoj1	Gov. Celso Portela/SC	0-20	3,6	2,2	6,5	47,5	56,60	-
SP1	Hp1	Taubaté/SP	0-12	5,2	0,5	2,1	57,8	61,40	-
SP1	Hp2	Taubaté/SP	12-45	5,1	0,3	1,4	41,5	43,26	-
Horizontes A chernozêmico									
AE15	A	/MS	0-35	7,4	0,0	17,0	3,0	20,21	392
AE20	A	/MS	0-23	6,7	0,0	14,0	4,1	18,36	206
AE23	A	/MS	0-40	6,4	0,0	19,0	5,9	25,26	273
AE125	A	/MS	0-20	7,0	0,0	23,5	2,6	27,08	362
AE133	A	/MS	0-30	7,0	0,0	17,5	2,5	20,39	206
AE135	A	/MS	0-20	6,7	0,0	17,5	5,8	23,77	322
AE143	A	/MS	0-20	6,2	0,0	10,6	4,3	15,47	191
AE147	A	/MS	0-30	6,2	0,0	11,6	2,3	14,14	125
AE151	A	/MS	0-50	6,6	0,0	7,0	4,6	11,84	146
Horizontes A proeminente									
CVP107	Ap	Candeias/MG	0-20	4,5	0,9	0,5	5,3	6,78	573
CVP110	A1	Itapecerica/MG	0-13	4,4	1,1	0,4	5,1	6,66	449
PCC6	A1	Unistalda/RS	0-35	4,4	1,1	0,7	7,7	9,63	430
Horizontes A húmico									
BA1	A1	Camaçari/BA	0-35	3,7	3,1	2,2	73,1	80,00	68
Castro13	Ap	Castro/PR	0-25	5,7	0,1	12,8	11,7	24,91	483
CVP106	A2	Candeias/MG	18-43	4,2	1,6	0,2	9,7	11,57	517
PMRO10	A	Rio das Ostras/RJ	0-24	5,8	0,0	11,5	8,3	20,59	287
SP1A	Ap	Taubaté/SP	8-49	3,6	3,3	1,9	24,9	28,77	238
Horizontes A moderado									
LS	Ap	Lindóia do Sul/SC	0-25	6,0	0,0	11,0	7,4	19,02	466
CVEX044	A	Tibagi/PR	0-25	4,5	1,0	1,0	6,9	9,02	531
JR9	A	Rio Pardo de Minas/MG	0-3/5	5,0	0,7	0,9	5,1	6,90	161
JR12	A	Rio Pardo de Minas/MG	0-8	4,7	0,6	0,4	4,4	5,50	404
P02	A	Morrinhos/GO	7-13	3,8	1,8	1,0	6,9	9,85	610
P19	A	Humaitá - Apuí/PA	0-10	4,9	0,3	1,6	5,7	8,15	263
PD03	Ap	Ponta Porã/MS	6-20	4,9	0,4	2,9	3,8	7,23	551
PD06	A	Prado/BA	0-16	4,5	1,4	1,7	6,4	9,67	553
PM1	Ap	Casi miro de Abreu/RJ	0-13	5,7	0,0	4,4	1,6	6,23	380
TS1	Ap	Presidente Médice/PA	12-31	4,9	1,00	1,0	5,6	7,69	820
H9	A	Cananéia/SP	0-20	4,7	4,7	1,3	4,3	10,30	30
PR1	A	Paranaguá/PR	0-20	4,8	0,7	0,4	2,3	3,43	60
AE183	A	/MS	0-20	5,6	0,0	10,4	4,6	15,73	197
PMRO7	A	Rio das Ostras/RJ	0-13	5,7	0,0	11,4	10,9	22,94	304
P02TE	Ag	Bragança/PA	0-12	5,1	0,2	15,0	4,7	24,20	670
UFRRJ	Ap	Seropédica/RJ	0-10	5,8	0,2	3,4	3,8	7,74	146
Horizontes B espódico									
H9	Bhsj2	Cananéia/SP	103-135	3,4	9,1	0,5	6,2	15,80	40
PR1	Bh2	Paranaguá/PR	150-180	5,6	0,0	1,8	2,0	3,81	80
PR2	Bh2	Paranaguá/PR	115-180	4,6	0,8	0,2	5,2	6,21	120
RJ5	Bhj	Rio de Janeiro/RJ	80-115	5,4	0,0	1,5	6,1	7,84	22

(1) H: hidrogênio; CTC: capacidade de troca catiônica a pH 7,0.

Para os horizontes superficiais A proeminente e A moderado, o C-FAF (1,7 a 8,1 g kg⁻¹) foi a segunda fração de maior expressão, seguida pelo C-FAH (1,0 a 26,4 g kg⁻¹). Nos horizontes subsuperficiais B espódico, os maiores teores foram verificados para o C-FAF (2,4 a 6,9 g kg⁻¹) e C-FAH (0,4 a 10,0 g kg⁻¹), alternadamente, e o C-HUM foi o que apresentou os mais baixos valores dentre todos os horizontes estudados.

Por meio de análise da matriz de correlação de Pearson, observa-se que algumas variáveis se correlacionaram, destacando-se as correlações positivas entre o C-HUM com C-FAF e C-FAH, e entre a relação C-FAH/C-FAF com C-FAH e %FAH (Quadro 3). Destacam-se também as correlações negativas entre a %HUM e %FAH e da relação C-EA/C-HUM com a %HUM.

Tais variáveis, quando submetidas à avaliação de variáveis canônicas, permitiram obter nos dois primeiros eixos canônicos 95,9 % da variância total, sendo para o eixo CAN1 78,2 % e CAN2 17,7 % da variância acumulada (Figura 1). Nesta representação é possível observar que três dos cinco tipos horizontes se separaram dos demais, como H hístico, com influência dos baixos valores do C-FAF e altos da relação C-FAH/C-FAF (variável qualitativa); A chernozêmico, com maior peso dos altos valores da %HUM e; B espódico, principalmente pelos altos

valores da relação C-EA/C-HUM (variável qualitativa) e da %FAF (Figura 2).

Nos horizontes H hístico, os baixos valores do C-FAF e altos da relação C-FAH/C-FAF indicam a influência das condições anaeróbias sobre o processo de humificação, que, neste caso, favoreceu a manutenção do material orgânico na qualidade do tipo hêmico ou fíbico (Embrapa, 2006), sendo os ácidos fúlvicos retirados da matriz do solo pela movimentação da água. Nos horizontes A chernozêmico, a elevada %HUM é indicativa da elevada estabilidade da humina com a matriz mineral, condicionada pela relação entre a matéria orgânica e os íons Ca e, ou, Mg (Kononova, 1966; Theng, 1979; Duchafour, 1983). Para os horizontes B espódico, os altos valores da relação C-EA/C-HUM têm destacado sua importância para distinção destes solos em relação aos demais, principalmente por ser indicativo da movimentação e do acúmulo de C (Schaefer et al., 2002; Benites, 1998, 2002), servindo para a avaliação do processo pedogenético de podzolização (Benites et al., 2001, 2003b).

As similaridades entre os horizontes apresentados pelo diagrama da figura 1 são também demonstradas pela análise das distâncias de Mahalanobis (Quadro 4), que indica a probabilidade de semelhança entre tipos de horizontes diagnósticos. Nesta análise de probabilidade, assim como na análise anterior,

Quadro 2. Valores médios e desvio-padrão da média (entre parênteses) do teor de COT, substâncias húmicas e relação entre substâncias húmicas

Horizonte	COT	C-FAF	C-FAH	C-HUM	%FAF	%FAH	%HUM	C-FAH/C-FAF	C-EA/C-HUM
	g kg ⁻¹				%				
H hístico	279,5 (145,6)	18,4 (8,5)	90,1 (54,5)	102,7 (61,4)	7,3 (2,8)	32,5 (14,6)	37,9 (16,2)	5,3 (3,5)	1,6 (1,7)
A chernozêmico	37,4 (7,0)	2,4 (0,8)	3,6 (1,2)	26,5 (7,6)	6,7 (2,0)	9,8 (3,3)	69,9 (8,6)	1,7 (1,0)	0,2 (0,06)
A proeminente	14,7 (2,0)	3,9 (1,5)	2,7 (0,4)	8,1 (1,0)	26,0 (6,2)	18,3 (1,2)	55,3 (3,5)	0,7 (0,17)	0,8 (0,18)
A húmico	45,6 (15,7)	5,2 (0,9)	16,1 (13,4)	18,8 (10,0)	13,6 (8,8)	34,4 (24,2)	42,4 (16,5)	3,4 (3,4)	1,9 (2,6)
A moderado	20,1 (14,7)	3,5 (1,8)	4,0 (6,0)	9,7 (4,5)	18,9 (6,9)	17,5 (9,6)	51,4 (8,6)	1,1 (0,9)	0,7 (0,3)
B espódico	13,0 (4,4)	4,4 (1,9)	4,4 (4,4)	1,0 (0,5)	38,8 (21,3)	30,0 (23,8)	10,0 (8,1)	1,5 (1,9)	12,1 (9,8)

Quadro 3. Valores de correlação de Pearson entre as variáveis estudadas

Variável 1	C-FAF	C-FAH	C-HUM	%FAF	%FAH	%HUM	C-FAH/C-FAF	C-EA/C-HUM
C-FAF	1	0,753	0,777	-0,263	0,304	-0,358	0,376	-0,050
C-FAH		1	0,800	-0,415	0,536	-0,406	0,820	0,013
C-HUM			1	-0,459	0,159	-0,046	0,536	-0,184
%FAF				1	-0,216	-0,202	-0,497	0,168
%FAH					1	-0,713	0,724	0,534
%HUM						1	-0,431	-0,653
C-FAH/C-FAF							1	0,161
C-EA/C-HUM								1

* Valores em negrito indicam significância a 5 %.

observa-se que os horizontes H hístico, A chernozêmico e B espódico foram os que apresentaram comportamento diferenciado, sendo observado pela baixa probabilidade de semelhança com os outros horizontes diagnósticos, enquanto, a probabilidade de semelhança entre o A proeminente com A moderado (76,7 %) e A húmico (16,0 %) e do A húmico com A moderado (12,6 %), reforçam a visualização desses horizontes de forma desordenada na figura 1.

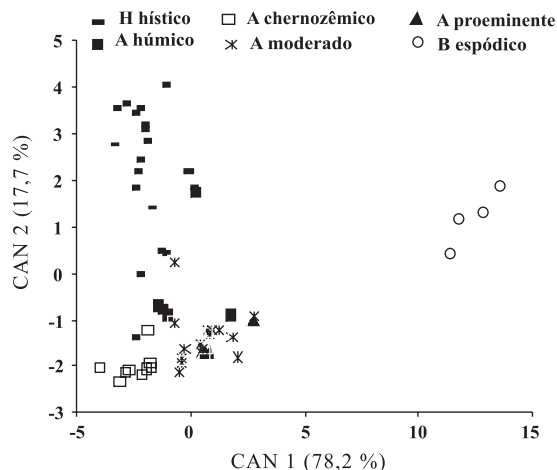


Figura 1. Dispersão dos escores dos horizontes diagnósticos nos dois primeiros eixos canônicos.

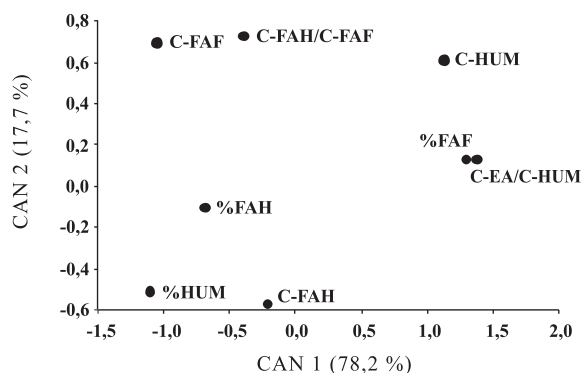


Figura 2. Dispersão dos coeficientes canônicos (padronizados) das variáveis estudadas.

No entanto, a avaliação do dendograma (Figura 3) demonstra discordância em relação à análise anterior, todavia não a invalida. Pelo dendograma, podem-se melhor visualizar as similaridades entre os tipos horizontes, justificando algumas sobreposições apresentadas pela análise de variáveis canônicas da figura 1. Esse dendograma apresenta cinco classes iniciais de similaridade (grupos), estando os horizontes A proeminente e A moderado na mesma classe e os demais individualizados em classes separadas. Por meio de uma análise mais geral, constata-se dois grupos bem distintos: o primeiro com os horizontes A chernozêmico, A proeminente e A moderado, e o segundo com os horizontes H hístico, A húmico e B espódico, com menor e maior influência da matéria orgânica para a distinção entre os tipos de horizontes diagnósticos.

Quando os horizontes foram submetidos à classificação pela análise discriminante, observou-se correspondência total (acerto) com a classificação original somente nos horizontes A chernozêmico e B espódico, e entre 60 e 80 % para os demais tipos de horizontes (Quadro 5).

Nos horizontes onde houve discordância de classificação, H hístico (perfis AE19 e MG2) como A

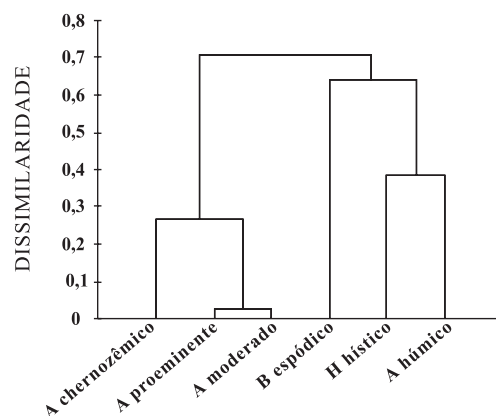


Figura 3. Dendograma obtido pelo método de APIP (agrupamento pareado igualmente ponderado) e dissimilaridade de Pearson (medida de similaridade).

Quadro 4. Probabilidade de semelhança entre os horizontes diagnósticos pela distância de Mahalanobis

Horizonte	H hístico	A chernozêmico ⁽¹⁾	A proeminente ⁽²⁾	A húmico	A moderado ⁽³⁾	B espódico
	%					
H hístico	100,0	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
A chernozêmico		100,0	0,02	0,03	0,01	0,01
A proeminente			100,0	16,0	76,7	0,01
A húmico				100,0	12,6	0,01
A moderado					100,0	0,01
B espódico						100,0

⁽¹⁾Chernozêmico. ⁽²⁾Proeminente. ⁽³⁾Moderado.

Quadro 5. Classificação dos horizontes diagnósticos pela análise discriminante a partir da função linear e método de validação cruzada

Horizonte	Acerto	H hístico	A chernozêmico	A proeminente	A húmico	A moderado	B espódico	Total horizonte
	%							
H hístico	78,95	15	2	-	2	-	-	19
A chernozêmico	100,00	.	9	-	-	-	-	9
A proeminente	66,67	.	.	2	-	1	-	3
A húmico	80,00	.	.	1	4	-	-	5
A moderado	62,50	.	.	3	3	10	-	16
B espódico	100,00	-	4	4
Total horizonte		15	11	6	9	11	4	56
Erro (%)		21,05	0,00	33,33	20,00	37,5	0,00	22,37*

* Erro total estimado.

chernozêmico, observa-se para o primeiro características químicas e físicas semelhantes aos horizontes A chernozêmico. A classificação de 2 H hístico (perfis PMRO9 e RS1) como A húmico evidencia a influência da drenagem e do cultivo sobre esses solos, favorecendo assim a decomposição da matéria orgânica, conduzindo a formação de um material mais decomposto (sáprico) e conseqüentemente aumentando a proporção dos ácidos húmicos (%FAH).

Uma observação (Figura 1), porém não destacada pela análise discriminante, indica um horizonte A húmico (perfil SP1A) muito próximo dos horizontes H hístico, que apresenta características semelhantes como baixo valor do C-FAF e alto valor da relação C-FAH/C-FAF. Esse comportamento pode ser devido à permanência constante de água neste solo durante maior parte do ano, uma vez que o perfil localiza-se em área de várzea drenada. Para as demais discordâncias de classificação, pode ser reflexo da semelhança da distribuição das substâncias húmicas e das características químicas e físicas dos horizontes.

CONCLUSÕES

1. Os resultados obtidos pelas análises multivariadas indicam que a distribuição de C das substâncias húmicas pode ser utilizada para separação dos horizontes diagnósticos H hístico, A chernozêmico e B espódico, estando esses relacionados principalmente às variáveis C-FAF, %HUM e C-EA/C-HUM, respectivamente.

2. A análise de agrupamento separou dois grupos principais de horizontes, o primeiro com horizontes de menor influência da matéria orgânica do solo para a distinção dos tipos de horizontes (A moderado, A proeminente e A chernozêmico), e o segundo, de maior influência (H hístico, A húmico e B espódico).

3. A classificação dos tipos de horizontes diagnósticos com base nas variáveis relacionadas com

o C das substâncias húmicas apresentou resultados satisfatórios, com 100 % de acerto para os horizontes A chernozêmico e B espódico, e entre 60 e 80 % para os demais, quando comparados à classificação original.

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. & RAMOS, D.P. Matéria orgânica e pedogênese. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênese, 1999. p.91-116.
- 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.; 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. (Embrapa Solos. 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 Espodossolos 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.
- CONINCK, F. & Mc KEAGUE, J.A. Micromorphology of Spodosols. In: DOUGLAS, L.A. & THOMPSON, M.L., eds. Soil micromorphology and soil classification. Madison, Soil Science Society of America; American Society of Agronomy, 1985. p.121-144.
- 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)
- 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.
- CUNHA, T.J.F. & RIBEIRO, L.P. Qualidade e relações pedogenéticas da matéria orgânica de alguns solos da região do Irecê (BA). R. Bras. Ci. Solo, 22:693-704, 1998.
- DUCHAUFOR, P. Pedology. London, George Allen & Unwin Publication, 1977. 448p.
- DUCHAUFOR, P. Pédologie 1. Pédogénese 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. 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. Brasília, Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FANNING, D.S. & FANNING, M.C.B. Soil morphology, genesis, and classification. New York, John Wiley & Sons, 1989. 395p.
- 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., 33:11, 1998.
- GOMES, J.B.V.; CURTI, N.; MOTTA, P.E.F.; KER, J.C.; MARQUES, J.J.G.S.M. & SCHULZE, D.G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma cerrado. R. Bras.Ci. Solo, 28:137-153, 2004.
- 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.
- KHATTREE, R. & NAIK, D.N. Multivariate data reduction and discrimination with SAS software. Cary, SAS Institute, 2000. 558p.
- KONONOVA, M.M. Soil organic matter. 2.ed. Oxford, Pergamon Press, 1966. 272p.
- 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)
- MORRISON, D.F. Multivariate statistical method. 2.ed. Singapore, McGraw Hill, 1976. 415p.
- 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.
- REGAZZI, A.J. Análise multivariada, notas de aula INF 766. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- SANTOS, H.G.; COELHO, M.R.; ANJOS, L.H.C.; JACOMINE, P.K.T.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; OLIVEIRA, J.B.; CARVALHO, A.P. & FASSOLO, P.J. Propostas de revisão e atualização do sistema brasileiro de classificação de solos (Conceitos, definições, atributos e horizontes diagnósticos e reestruturação de classes). Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2003. 50p. (Série Documentos, 53)
- 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.
- SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPFERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T. & SUMNER, M.E., eds. Methods of soil analysis. Chemical methods. Part 3. Madison, Soil Science Society of America; American Society of Agronomy, 1996. 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. New York, Elsevier Science Publishing, 1979. 343p.
- VALLADARES, G.S. Caracterização de Organossolos, auxílio a sua classificação. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2003. 129p. (Tese de Doutorado)
- 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)
- VOLKOFF, B. Comparação do húmus de um Solontchak, uma Rendzina e um solo litólico da região semi-árida do Rio Grande do Norte. R. Bras. Ci. Solo, 4:49-56, 1980.
- VOLKOFF, B. & CERRI, C.C. Húmus em solos da floresta amazônica na região do rio Madeira. R. Bras. Ci. Solo, 5:15-21, 1981.