

COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE MATERIAIS DE SOLOS E DE ESTRUTURAS BIOGÊNICAS ASSOCIADAS⁽¹⁾

J. A. M. DEMATTÊ⁽²⁾, A. L. MAFRA⁽³⁾ & F. F. BERNARDES⁽⁴⁾

RESUMO

No presente estudo, verificou-se a interferência da macrofauna edáfica sobre os atributos físicos e químicos e sua relação com a reflectância espectral de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LV), Terra Roxa Estruturada latossólica (TR) e Vertissolo (V). Esses solos localizam-se em três pontos ao longo de uma topossequência da região de Piracicaba (SP). As amostras foram direcionadas para os agregados formados pelas formigas cortadeiras (*Atta* sp.), cupins (*Cornitermes cumulans*) e minhocas (*Pontoscolex corethrurus*), os quais foram comparados com o solo-controle sem atividade visível e recente dos animais (testemunha). Foram avaliadas a granulometria e a composição química das amostras de solo. O comportamento espectral do solo foi obtido em laboratório, utilizando espectrorradiômetro entre 400 e 2.500 nm. Os coprólitos de minhoca apresentaram 2 a 3 vezes mais fósforo e um incremento de 30 a 50% na matéria orgânica em relação ao horizonte superficial do solo. Os agregados de cupins e formigas apresentaram composição química semelhante à dos horizontes subsuperficiais dos solos. O comportamento espectral dos agregados biológicos variou conforme sua composição química e profundidade de ação dos animais. No caso da minhoca, as curvas de reflectância foram semelhantes às do horizonte superficial para os três solos. Para as estruturas de cupim e formiga, tanto a composição química como o comportamento espectral corresponderam ao horizonte subsuperficial no LV e TR.

Termos de indexação: espectroradiometria, formiga cortadeira, térmitas, minhoca, pedofauna, sensoriamento remoto.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em novembro de 1997 e aprovado em agosto de 1998.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP. Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: jamdemat@carpa.ciagr.usp.br.

⁽³⁾ Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/USP. Bolsista do CNPq.

⁽⁴⁾ Mestrando em Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ/USP. Bolsista da CAPES.

SUMMARY: *SPECTRAL BEHAVIOR OF SOIL MATERIALS AND BIOGENIC ASSOCIATED AGGREGATES*

*The objective of this study was to study the effects of soil macrofauna on physical and chemical attributes and spectral reflectance of an Oxisol, Ultisol and Vertisol in Piracicaba (SP), Brazil. Along a toposequence, the soil aggregates produced by ants (*Atta sp.*), termites (*Cornitermes cumulans*) and earthworms (*Pontoscolex corethrurus*), were collected and compared with the control soil without recent visible animal activity. Soil chemical analysis and granulometry were carried out. The soil spectral behavior was determined in laboratory with a spectroradiometer between 400 and 2500 nm. The earthworm casts had 2 to 3 times more phosphorus and 30 to 50% greater increase in the organic matter content than the soil surface. The termite and ant aggregates showed similar chemical composition compared with the subsurface soil layer. The spectral reflectance of the biological aggregates changed according to their chemical composition and animal activity depth. In the earthworm case, the spectral curves were similar to the soil surface. In the termite and ant structures, chemical composition and spectral behavior corresponded to subsurface soil layer. The spectral curves of the randomly collected soil surface samples can show significant variations in conformity with fauna groups predominating the site and animal activity intensity.*

Index terms: spectroradiometry, fungus-growing ants, termites, earthworm, soil fauna, remote sensing.

INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto é uma técnica que visa relacionar as características edáficas com a energia eletromagnética refletida pelo solo. Tal método tem crescente aplicação nos estudos pedológicos, especialmente pela relativa facilidade de operação e desenvolvimento de novos sistemas sensores com maior resolução espectral (Madeira Netto et al., 1993). A observação dos padrões das curvas espectrais do solo, como formato, intensidade e bandas de absorção, mostra-se sensível à presença de alguns de seus constituintes, especialmente matéria orgânica, minerais de argila e óxidos de Fe e Al (Stoner & Baumgardner, 1981).

Esse instrumento pode utilizar amostras retiradas da superfície do solo, possibilitando verificar variações no comportamento espectral em função das modificações de seus atributos, decorrentes do manejo, aplicação de insumos agrícolas e atividade biológica. Desses fatores, a ação da fauna edáfica, resultante do hábito alimentar e construtor dos animais, atuando em microssítios e agregados do solo, repercute em transformações na escala da paisagem (Miklós, 1995).

Os animais que apresentam maior atividade e biomassa nos ecossistemas tropicais são as minhocas, as formigas e os cupins (Lal, 1988). As minhocas modificam os atributos do solo através da abertura de canais, fragmentação da fitomassa e mistura com os constituintes minerais, produzindo agregados organominerais conhecidos como coprólitos (Brown, 1995). Essas estruturas apresentam normalmente

mais argila, matéria orgânica e nutrientes em relação ao solo original (Lofty, 1974). As formigas cortadeiras, abundantes na América tropical, constroem ninhos com até 50 m² e cerca de 3 milhões de formigas (Moutinho, 1995). As principais modificações no solo são o enriquecimento em carbono e nutrientes no interior do ninho, em função do acúmulo de fitomassa, e o transporte da terra de escavação das galerias para a superfície do solo (Coutinho, 1984). O remonte de solo pelas saúvas, estimado na região de Botucatu (SP), foi da ordem de 0,14 a 0,22 mm ano⁻¹ (Miklós, 1992). Os cupins são outro grupo importante da fauna edáfica, uma vez que a maioria das espécies utiliza solo e matéria orgânica como recurso alimentar e de construção dos ninhos (Domingos et al., 1986). Esse material normalmente apresenta acúmulo de argila, matéria orgânica e nutrientes (Lee, 1983). O transporte de solo para a superfície durante a construção dos cupinzeiros, conhecido como remonte biológico, é significativo, atingindo, na região de Botucatu (SP), um montante de 0,21 a 0,34 mm ano⁻¹ (Miklós, 1992). Em Salitre, MG, a taxa de remonte foi de 0,21 a 0,23 mm ano⁻¹ (Boulet et al., 1995). Essa ação representa uma inversão de camadas do solo, modificando sua superfície a partir do depósito de materiais provenientes de horizontes subsuperficiais.

Os estudos do comportamento espectral em solos brasileiros são relativamente recentes. Dentre os trabalhos pioneiros, Formaggio (1983) estudou quatro solos de São Paulo e Madeira Netto (1991) descreveu as curvas de reflectância de 56 amostras de Latossolos da região de Brasília. Posteriormente, tem-se o levantamento efetuado por Epiphanyo et al.

(1992), caracterizando 111 curvas espectrais de catorze solos do estado de São Paulo. No trabalho de Valeriano et al. (1995), observou-se a relação entre a reflectância espectral e os atributos físico-químicos dos solos.

As curvas espectrais podem ser classificadas segundo seu formato, de acordo com Condit (1970) e Stoner & Baumgardner (1981), em 5 tipos, considerando as principais bandas de absorção, relacionadas com possíveis constituintes do solo.

Não há relato na literatura a respeito da influência da fauna edáfica no comportamento espectral dos solos. Assim, partiu-se do pressuposto de que a fauna edáfica, alterando as características dos solos, irá mudar o seu caráter espectral.

Este estudo foi realizado com o objetivo de verificar a interferência da atividade biológica dos animais, manifestada no horizonte superficial, na relação com atributos físicos e químicos e na reflectância espectral dos solos.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi desenvolvido na região de Piracicaba, SP, ao longo de uma toposseqüência em três pontos: (a) *perfil 1*, no topo, com Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico A moderado textura média (LV), proveniente de arenitos com cimentação argilosa da formação Rio Claro; (b) *perfil 2*, na parte superior da encosta, com Terra Roxa Estruturada latossólica eutrófica A proeminente (TR), oriundo do diabásio da formação Serra Geral, e (c) *perfil 3*, na base da encosta, com Vertissolo A chernozêmico (V). Os animais envolvidos foram as formigas cortadeiras (*Atta* sp.), os cupins epígeos (*Cornitermes cumulans*) e as minhocas (*Pontoscolex corethrurus*). O solo-controle foi coletado em três trincheiras, separando os diferentes horizontes onde não havia atividade visível e recente dos animais. No caso do LV, os

horizontes coletados foram Ap, AB e Bw; na TR, o Ap, AB, Bt e Bw e, no V, o Ap, Cv1 e Cv2. As amostras referentes às estruturas biogênicas foram coletadas, com três repetições, na superfície do solo num raio aproximado de 15 m das trincheiras. Essas eram compostas por agregados presentes nos ninhos de cupim e formiga e pelos coprólitos de minhoca (Figura 1).

Após a retirada das amostras de terra, efetuou-se a secagem em estufa a 45°C, procedendo-se ao destorroamento e preparo para análise. A granulometria do solo foi determinada, utilizando-se NaOH como dispersante, obtendo-se as quantidades de areia, silte e argila (Camargo et al., 1986). As determinações químicas para fins de fertilidade foram: pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹, carbono orgânico, P, Ca, Mg, K, CTC e saturação por bases, que foram realizadas de acordo com Raij & Quaggio (1983). Em amostras do solo-controle, foram quantificados Fe, Si e Al totais pelo ataque sulfúrico, determinando o índice Ki, de acordo com o método de Camargo et al. (1986).

O comportamento espectral do solo foi determinado por meio do espectroradiômetro IRIS (Infra-Red Intelligent Spectroradiometer), em laboratório, com resolução espectral de 2 nm entre 400 e 1.000 nm e de 4 nm entre 1.000 e 2.600 nm. Foi utilizada uma placa de referência com 100% de reflectância. O preparo das amostras consistiu na moagem, peneiramento em malha de 2 mm e secagem em estufa a 45°C por 24 horas. Para efetuar a leitura no aparelho, as amostras foram transferidas para placas de Petri, de 9 cm de diâmetro, com uma camada mínima de 1 cm de terra de acordo com Epiphânio et al. (1992). A razão do fluxo radiante espectral refletido por uma amostra pelo fluxo radiante refletido pelo material de referência gera o fator de reflectância bidirecional espectral, a partir do qual é montada a curva de reflectância (Nicodemus et al. 1977). As curvas espectrais das estruturas biogênicas representam a reflectância média das amostras a partir de três repetições.

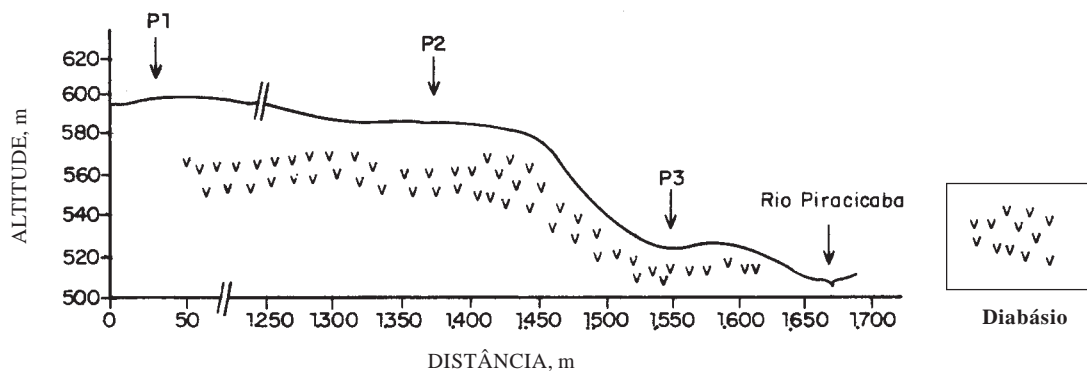


Figura 1. Posição relativa dos perfis (P) na toposseqüência onde foram obtidas as amostras do solo-controle e das estruturas biogênicas associadas.

As curvas espectrais foram classificadas de acordo com Condit (1970) e Stoner & Baumgardner (1981), conforme a figura 2.

As análises estatísticas consistiram em teste F para análise de variância e teste de Tukey para comparação de médias ($\alpha = 0,05$) referentes às amostras das estruturas biogênicas.

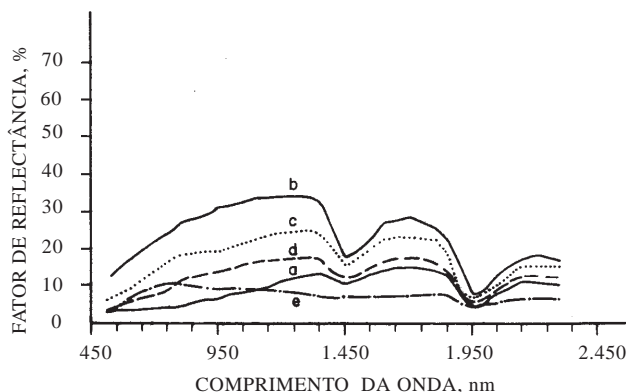


Figura 2. Curvas representativas de cinco padrões espectrais de solos minerais, segundo Stoner & Baumgardner (1981), e o respectivo comportamento espectral: (a) *dominado pela matéria orgânica* (representado por um solo com elevado conteúdo de matéria orgânica⁽¹⁾, textura moderadamente fina); (b) *minimamente alterado* (baixo teor de matéria orgânica, médio teor de óxido de ferro⁽²⁾); (c) *afetado por óxidos de ferro* (baixo teor de matéria orgânica e médio teor de óxido de ferro); (d) *afetado por matéria orgânica* (elevado teor de matéria orgânica, textura moderadamente grosseira) e (e) *dominado por óxidos de ferro* (elevado teor de óxidos de ferro, textura fina).

⁽¹⁾ Baixo teor de matéria orgânica: 0 - 2%; alto teor: > 2%.

⁽²⁾ Baixo teor de óxido de ferro: 0 - 1%; médio teor: 1 - 4%; alto teor: > 4%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fauna edáfica e atributos físicos e químicos do solo

A granulometria do solo foi pouco modificada nas estruturas biogênicas analisadas. O LV é um solo com textura média, onde a concentração de argila variou de 210 a 300 g kg⁻¹ (Figura 3a). A composição granulométrica dos coprólitos de minhoca e dos agregados formados pelos cupins e formigas foi semelhante, apresentando teor de argila em torno de 200 g kg⁻¹, equivalente a dos horizontes superficiais do solo-controle.

Na TR, nota-se um gradiente textural em profundidade no solo-controle, passando de 540 g kg⁻¹ de argila, na superfície, para 680 g kg⁻¹, no horizonte Bt. Os materiais trabalhados pela fauna tiveram concentração de argila equivalente à dos horizontes A, AB e Bw. Neste solo, os materiais presentes nos ninhos de cupins e formigas apresentaram maior teor de argila do que os coprólitos de minhoca. Isso pode ser atribuído à coleta de terra pelos cupins e formigas em subsuperfície, supostamente no horizonte Bt, o qual apresenta enriquecimento em argila (Figura 3b).

No V, a textura é intermediária, com teor de argila entre 440 e 520 g kg⁻¹. O horizonte subsuperficial Cv₂ apresentou maior acúmulo de argila (520 g kg⁻¹). Neste solo, as estruturas formadas pelos animais tiveram concentração de argila ligeiramente menor em relação ao controle, especialmente os agregados transportados pelas formigas que apresentaram concentração de argila em torno de 300 g kg⁻¹ (Figura 3c). Não houve diferença entre o teor de argila nas estruturas biogênicas em virtude da maior homogeneidade textural no perfil. Além disso, a atividade dos animais está mais ligada à camada superficial, em decorrência do excesso de água em subsuperfície.

Os atributos químicos modificados pela atividade animal foram a quantidade de matéria orgânica, fósforo, cátions e CTC (Quadro 1). As diferenças mais evidentes ocorreram nos perfis 1 e 2 (LV e TR), sendo no V atenuadas pela sua elevada fertilidade natural. Os coprólitos de minhoca foram as estruturas biogênicas com maior modificação das características químicas em relação ao solo-controle, evidenciando também diferenças em relação aos agregados formados pelas formigas e cupins. Dentre os nutrientes, o fósforo foi o mais intensamente incrementado pela atividade biológica. Os coprólitos de minhoca apresentaram concentração desse elemento 2 a 3 vezes maior que o horizonte superficial, especialmente nos perfis 1 e 2. A concentração de matéria orgânica nas estruturas formadas pelas minhocas foi de 30 a 50% maior do que a observada nos horizontes superficiais desses solos. Isso pode ser explicado pelo comportamento ecológico da espécie estudada, que vive na camada superficial do solo (até 10 a 15 cm), promovendo seu enriquecimento em matéria orgânica e nutrientes (Bernardes & Miklós, 1994). Os agregados formados pelas formigas e cupins, nos solos estudados, tiveram concentração de nutrientes semelhante à dos horizontes subsuperficiais, o que concorda com o hábito construtor desses animais, capazes de abrir canais com dezenas de metros de profundidade (Bachelier, 1978).

A ação das minhocas sobre os atributos químicos do solo tem sido um dos mais conhecidos efeitos da fauna. Os coprólitos formados por esses animais contêm normalmente de 2 a 5 vezes mais matéria orgânica que o solo adjacente, dependendo do tipo

de vegetação, solo e espécie envolvida. Esse enriquecimento equivale a uma fertilização com 100 a 500 t ha⁻¹ ano⁻¹ de composto orgânico. Além da matéria orgânica, há um incremento na concentração de P, cátions e aumento da CTC (Lal, 1987), concordando com os resultados obtidos neste trabalho (Quadro 1). Isso é atribuído à fragmentação e consumo dos resíduos orgânicos e mistura com o solo, sofrendo, posteriormente, no seu intestino, intenso ataque microbiano, formando agregados organominerais ricos em nutrientes, que são cimentados por polissacarídeos (Shipitalo & Protz, 1989). Os atributos químicos dos agregados de formiga e cupim dependem da composição dos diferentes horizontes do solo, tipo de alimento e parte do ninho analisada. O material mineral trazido à superfície durante a escavação de canais e câmaras corresponde normalmente às camadas mais

profundas do solo. Nas câmaras internas, onde se encontram as crias e o estoque de alimentos, notou-se enriquecimento de material orgânico (Lee & Wood, 1971). As variações nos atributos químicos, encontradas no quadro 1, são resultantes desses fatores, salientando-se que o material coletado pertencera aos montículos de superfície, razão porque se explica o menor conteúdo de matéria orgânica e nutrientes.

Descrição das curvas espectrais do solo

As curvas de reflectância dos materiais alterados pela fauna e dos diferentes horizontes do solo-controlado variaram ao longo da topossequência. No perfil 1 (LV), o horizonte A apresentou menor reflectância e atenuação das bandas de absorção (Figura 4a). Nos horizontes AB e Bw, foram evidentes 5 bandas de absorção nos seguintes comprimentos de onda: 400 a 550 nm e 800 a 900 nm, devidos aos óxidos de ferro (Vitorello & Galvão, 1996); 1.400 e 1.900 nm, à vibração de moléculas de água nos minerais de argila, e 2.200 nm, à caulinita (Lindberg & Snyder, 1972; Mathews et al., 1973). Em 1.400 nm também ocorre absorção causada pela vibração dos grupos OH (Lindberg & Snyder, 1972) dos minerais de argila. A menor reflectância observada no horizonte superficial está ligada ao maior teor de matéria orgânica nesta camada, que absorve a energia eletromagnética (Henderson et al., 1992). Nos horizontes AB e Bw, com menores teores de matéria orgânica, o efeito do ferro se manifestou, formando concavidades entre 400 e 1.000 nm. As curvas espectrais dos coprólitos de minhoca (Figura 4b) nesse solo tiveram comportamento semelhante ao do horizonte A, enquanto os agregados de formigas e cupins demonstraram comportamento espectral semelhante ao dos horizontes AB e Bw, respectivamente, concordando com os atributos químicos apresentados no quadro 1, e compatível com a ecologia dessas espécies.

No perfil 2 (TR), as curvas espectrais revelam algumas diferenças em relação ao LV, pois o horizonte superficial apresentou maior reflectância, praticamente em toda a faixa espectral (Figura 5a). O mesmo fato foi observado por Epiphânio et al. (1992) e Demattê (1995) para TR de São Paulo e Paraná, respectivamente. As bandas de absorção foram correspondentes aos óxidos de ferro, água e caulinita, nos mesmos comprimentos de onda citados anteriormente. Nesse caso, as bandas, em razão dos compostos de ferro, foram mais intensas que no perfil anterior, considerando o maior teor de ferro no material (Quadro 1). A curva espectral referente aos coprólitos de minhoca foi semelhante à do horizonte superficial (Figura 5b). Nesse horizonte, a concavidade característica da presença do ferro (800 a 1.000 nm) encontra-se atenuada, à semelhança da curva obtida a partir dos coprólitos de minhoca. Por sinal, até as diferenças na magnitude foram semelhantes, quando se comparam as curvas do

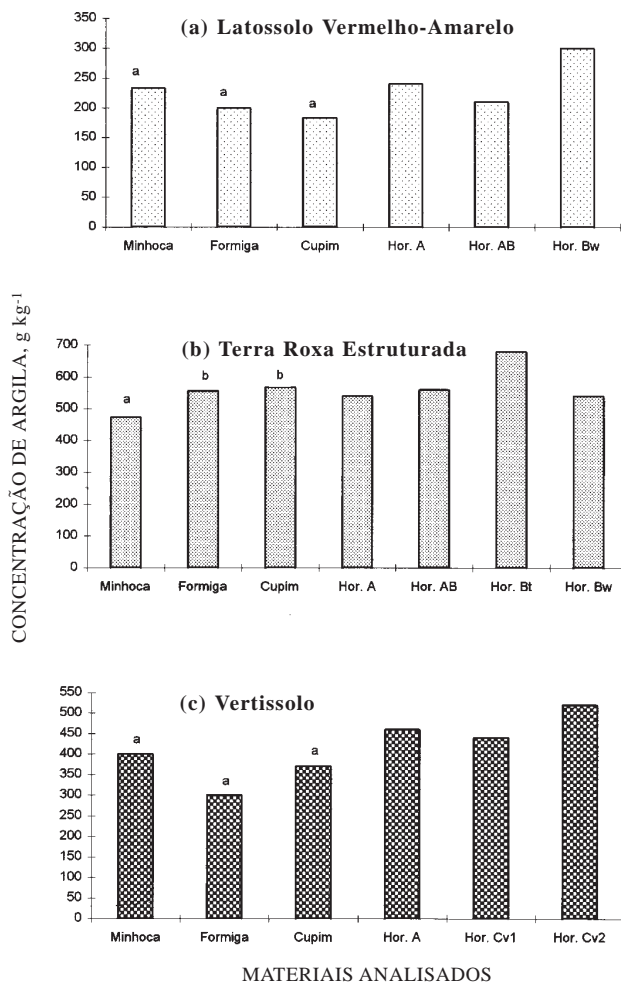
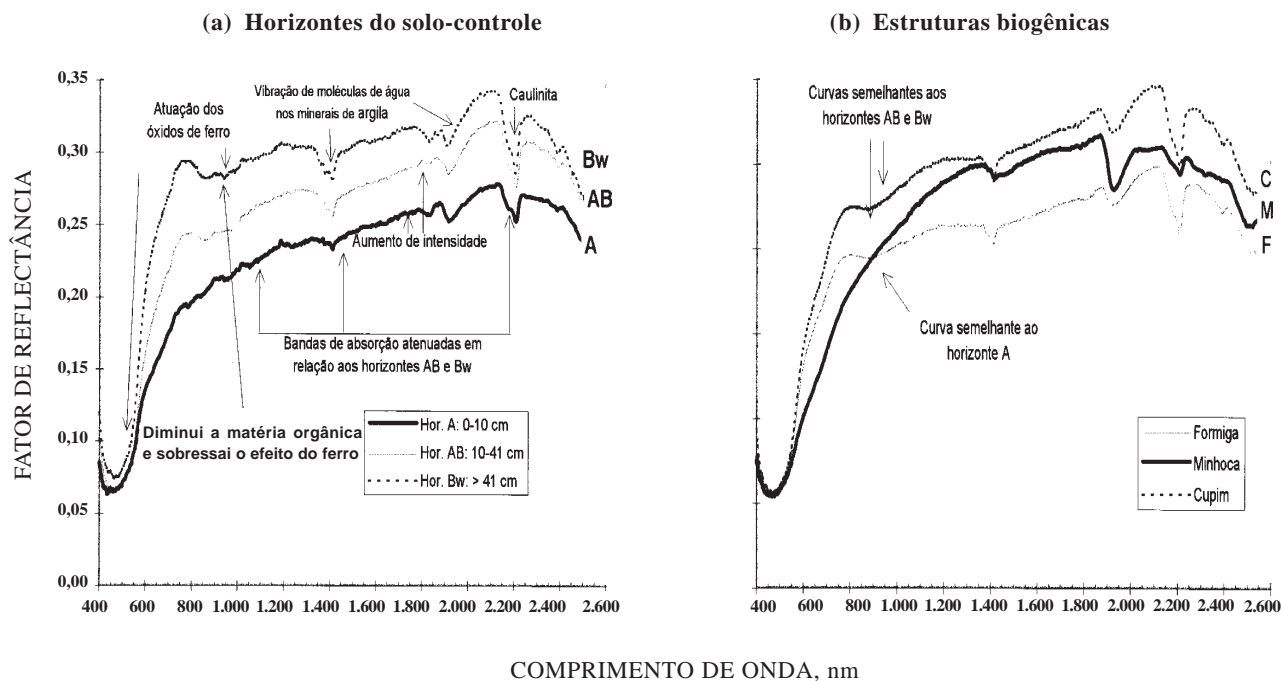


Figura 3. Concentração de argila nos agregados biológicos e no solo-controlado. (Os teores de argila das estruturas biológicas seguidos da mesma letra não diferiram pelo teste de Tukey a 5%).

Quadro 1. Modificações dos atributos químicos do solo pela ação da fauna edáfica em três solos de uma toposeqüência na região de Piracicaba

Material	Profundidade	pH CaCl ₂	MO	P	Ca	Mg	K	CTC	V	Fe ⁽¹⁾	Ki
	cm		g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mmol _c dm ⁻³				%	g kg ⁻¹	
Perfil 1: Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico A moderado textura média (LV)											
Minhoca		4,6 a ⁽²⁾	58 a	19 a	21 a	9 a	0,6 a	78 a	39 a	-	-
Formiga		4,6 a	14 b	3 a	8 b	3 b	0,1 a	38 b	38 a	-	-
Cupim		4,3 a	12 b	3 a	8 b	3 b	0,2 a	35 b	36 a	-	-
Horizonte A	0 - 10	4,6	38	6	20	11	1,0	50	64	28,7	2,0
Horizonte AB	10 - 41	4,4	13	3	7	4	1,6	44	29	21,0	1,9
Horizonte Bw	> 41	4,5	11	2	9	3	1,2	31	38	24,5	1,7
Perfil 2: Terra Roxa Estruturada latossólica eutrófica A proeminente textura argilosa (TR)											
Minhoca		5,3 a ⁽²⁾	34 a	38 a	43 a	21 a	15 a	101 a	77 a	-	-
Formiga		5,4 a	18 b	20 ab	24 b	10 ab	4,0 b	70 ab	53 b	-	-
Cupim		4,9 a	31 a	11 b	20 b	8 b	2,0 b	79 b	38 c	-	-
Horizonte A	0 - 8	5,0	26	18	25	11	7,0	63	68	119,5	1,6
Horizonte AB	8 - 20	4,8	26	16	23	10	5,0	70	54	123,7	1,6
Horizonte Bt	20 - 89	5,3	11	11	24	8	0,8	62	53	136,6	1,7
Horizonte Bw	> 89	5,6	10	3	17	4	0,5	37	57	130,7	1,6
Perfil 3: Vertissolo A chernozêmico terra argilosa (V)											
Minhoca		5,5 a ⁽²⁾	49 a	78 a	91 a	34 a	2,7 a	163 a	78 a	-	-
Formiga		5,2 a	38 a	46 b	72 a	28 a	2,7 a	141 a	72 a	-	-
Cupim		5,0 a	50 a	31 c	81 a	28 a	1,3 b	159 a	69 a	-	-
Horizonte A	0 - 27	5,0	38	78	68	20	6,7	107	89	168,5	2,4
Horizonte Cv ₁	27 - 86	5,4	20	73	130	22	3,0	211	73	78,3	2,7
Horizonte Cv ₂	> 86	5,6	12	34	103	21	1,2	149	81	46,8	3,2

⁽¹⁾ Ferro extraído pelo ataque sulfúrico (g kg⁻¹ de Fe = 6,99 x % Fe₂O₃). ⁽²⁾ Médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem entre si a 5%. “-” Não analisado.

**Figura 4. Comportamento espectral dos horizontes do Latossolo Vermelho-Amarelo (a) e das estruturas biogênicas (b).**

horizonte A e a dos coprólitos. Os agregados de formiga e de cupim tiveram curvas semelhantes com o horizonte Bt e Bw do solo-controle, concordando, mais uma vez, com os atributos químicos do quadro 1.

O comportamento espectral observado no horizonte superficial do V (perfil 3) apresentou menor refletância e bandas de absorção suavizadas (Figura 6a), em decorrência da maior concentração de matéria orgânica (Quadro 1). Os horizontes subsuperficiais apresentaram a banda de absorção característica dos óxidos de ferro apenas entre 400 e 500 nm. No perfil 3, por conter alto teor de ferro, principalmente na primeira camada (Quadro 1), não ocorre a concavidade entre 800 e 1.000 nm. Isso se verifica porque é um solo pouco intemperizado (Ki entre 2,4 e 3,2), com parte do ferro sendo constituinte de minerais primários. As concavidades entre 400 e

600 nm e 800 e 1.000 nm são devidas aos óxidos mais cristalizados, hematita e goetita (Vitarello & Galvão, 1996). Esse Vertissolo apresenta, ainda, minerais de argila 2:1 (montmorilonita), que podem ocasionar absorções intensas em 1.400 e 1.900 nm (Demattê, 1995), por causa das moléculas de água adsorvidas no mineral. Além disso, a caulinita promoveu a banda em 2.200 nm. As estruturas biogênicas (Figura 6b) apresentaram comportamento espectral semelhante ao do horizonte superficial, com bandas de absorção fracas em 1.400, 1.900 e 2.200 nm. A ação de cupins e formigas, restritas à camada superficial, possivelmente esteja ligada ao fato de os ninhos estarem em estágio inicial de formação, bem como às condições adversas aos animais no horizonte C, como excesso de água, por causa da presença do lençol próximo à superfície.

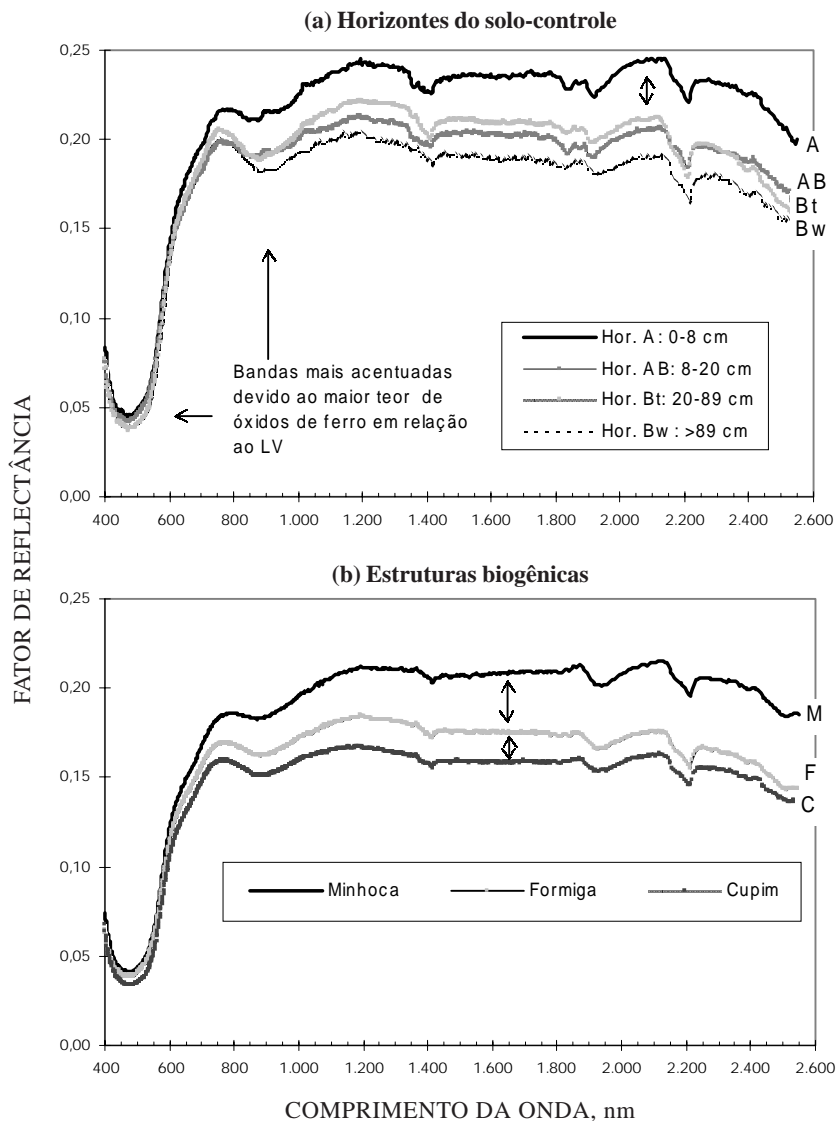


Figura 5. Comportamento espectral dos horizontes da Terra Roxa Estruturada latossólica (a) e das estruturas biogênicas (b).

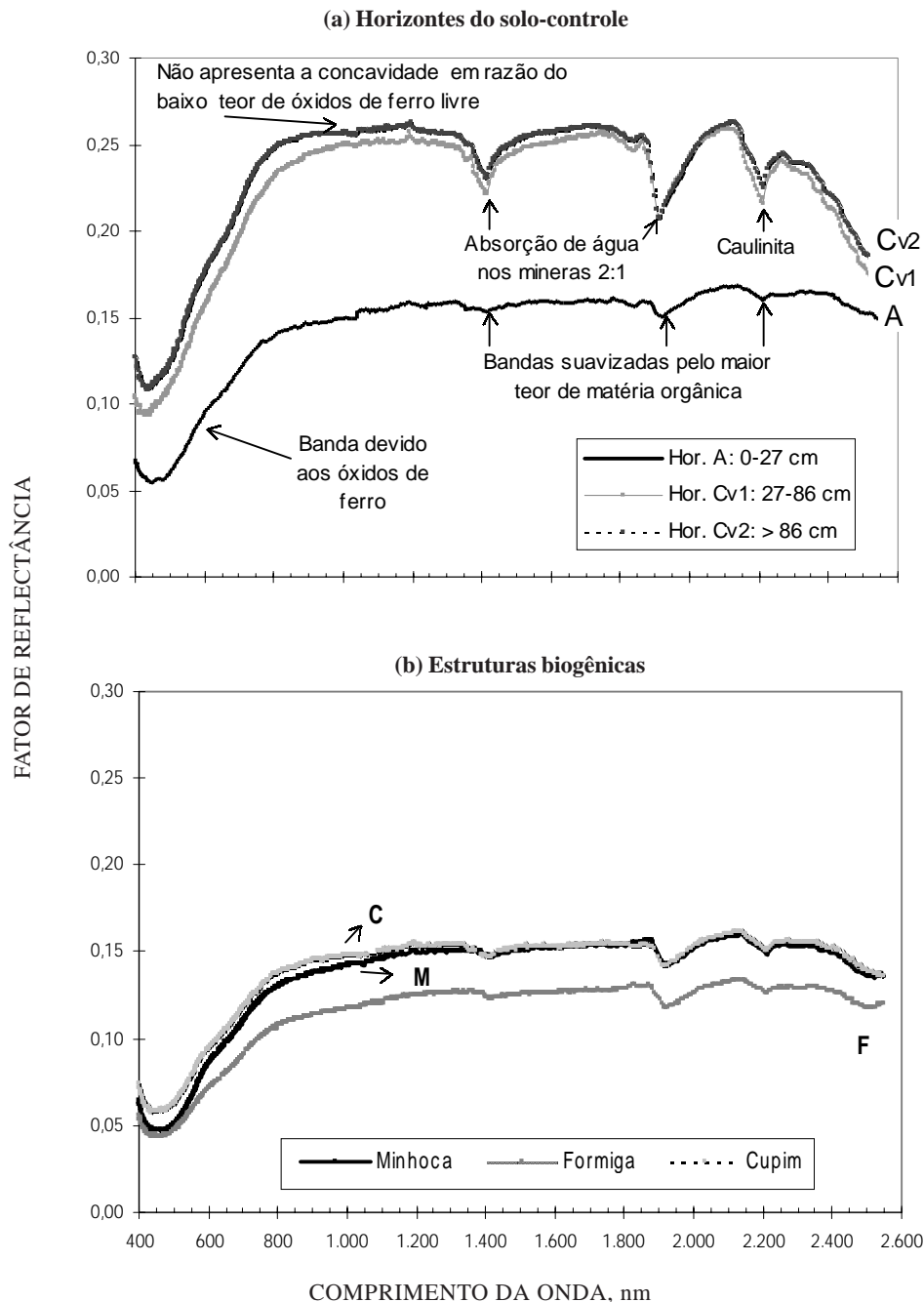


Figura 6. Comportamento espectral dos horizontes do Vertissolo (a) e das estruturas biogênicas (b).

A análise descritiva das curvas espectrais, segundo Condit (1970) e Stoner & Baumgardner (1981), discriminou cinco tipos de curvas no intervalo espectral de 400 a 2.500 nm (Quadro 2). O Tipo 2, caracterizado pelo formato convexo entre 500 e 1.300 nm, ocorreu no horizonte A e nos coprólitos de minhoca do LV. O Tipo 3, com formato convexo entre 500 e 800 nm, seguido de concavidade entre 800 e 1.100 nm, descreveu, para o mesmo solo,

os agregados de cupim e formiga e o horizonte Bw. Neste caso, a análise descritiva concordou com os resultados da análise química. O Tipo 5, convexa em 950 nm e baixa reflectância ao longo de todo o espectro eletromagnético, foi obtido para as curvas do solo-controle e dos materiais de origem biológica na TR. O Tipo 4, côncavo entre 500 e 600 nm e convexo de 600 a 750 nm, foi evidenciado no V, nos horizontes e nos agregados biogênicos.

Quadro 2. Tipos de curvas espectrais, de acordo com Condit (1970) e Stoner & Baumgardner (1981), no solo-controle e estruturas alteradas pela fauna

Perfil	Agregados biológicos			Solo-controle	
	Minhoca	Formiga	Cupim	Superfície	Subsuperfície
Latossolo Vermelho-Amarelo	2	3	3	2	3
Terra Roxa Estruturada latossólica	5	5	5	5	5
Vertissolo	4	4	4	4	4

CONCLUSÕES

1. A ação da fauna edáfica resultou em alterações, sobretudo nos atributos químicos, os quais variaram conforme o organismo envolvido. Os coprólitos de minhoca, no Latossolo Vermelho-Amarelo e na Terra Roxa Estruturada latossólica, tiveram um enriquecimento em matéria orgânica e fósforo da ordem de 1,5 a 3 vezes em relação ao horizonte A do solo-controle. Nesses solos, os agregados de cupins e formigas apresentaram composição química semelhante à dos horizontes subsuperficiais.

2. Para as estruturas biogênicas analisadas, foi possível identificar relações entre tipo de material e profundidade de ação dos animais e comportamento espectral.

3. A análise das feições e a intensidade de reflectância das curvas espectrais evidenciaram as relações entre atividade animal e diferentes horizontes do solo-controle. As curvas de reflectância dos coprólitos de minhoca nos três solos coincidiram com as do horizonte superficial, e as estruturas de cupins e formigas foram semelhantes às do material de subsuperfície, com exceção do Vertissolo.

4. A classificação das curvas espectrais de acordo com o tipo discriminou os diferentes solos, mas não foi eficaz na discriminação das curvas dos horizontes com relação àquelas de estruturas da fauna edáfica, exceto no Latossolo Vermelho-Amarelo.

AGRADECIMENTO

À FAPESP/Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio na aquisição do sistema sensor IRIS (Infra Red Intelligent Spectroradiometer), sem o qual não seria possível a realização desta pesquisa.

LITERATURA CITADA

BACHELIER, G. La faune des sols. Son écologie et son action. Paris, ORSTOM, 1978. 391p. (Documentations Techniques, 38)

BERNARDES, F.F. & MIKLÓS, A.A.W. Comportamento reprodutor, produção de coprólito e densidade populacional de *Pontoscolex corethrurus* ("Minhoca mansa"). In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 2., São Paulo, 1994. Resumos. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1994. p.5.

BOULET, R.; PESSEDA, L.C.R.; TELLES, E.C.C. & MELFI, A.J. Une évaluation de la vitesse de l'accumulation superficielle de matière par la faune du sol à partir de la datation des charbons et de l'humine du sol. Exemple des latosols des versants du lac Campestre, Salitre, Minas Gerais, Brésil. C. R. Acad. Sci., Série 2, 320:287-294, 1995.

BROWN, G.G. How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity? Plant Soil, 170:209-231, 1995.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos. Campinas, IAC, 1986. 94 p. (Boletim Técnico, 106)

CONDIT, H.R. The spectral reflectance of American soils. Photogram. Eng., 36:955-966, 1970.

COUTINHO, L.M. Aspectos ecológicos da saúva no cerrado. A saúva, as queimadas e sua possível relação na ciclagem de nutrientes minerais. B. Zool. Univ. São Paulo, 8:1-9, 1984.

DEMATTE, J.A.M. Relações entre dados espectrais e características físicas, químicas e mineralógicas de solos desenvolvidos de rochas eruptivas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1995. 265p. (Tese de Doutorado)

DOMINGOS, D.J.; CAVENAGHI, T.M.C.M.; GONTIJO, T.A.; DRUMOND, M.A. & CARVALHO, R.C.F. Composição em espécies, densidade e aspectos biológicos da fauna de térmitas de cerrado em Sete Lagoas, MG. Ci. Cult., 38:199-206, 1986.

EPIPHANIO, J.C.M.; FORMAGGIO, A.R.; VALERIANO, M.M. & OLIVIRA, J.B. Comportamento espectral de solos do estado de São Paulo. São José dos Campos, INPE, 1992. 134p.

FORMAGGIO, A.R. Comportamento espectral de quatro solos do estado de São Paulo nos níveis orbital, de campo e de laboratório. São José dos Campos, INPE, 1983. 110p. (Dissertação de Mestrado)

HENDERSON, T.L.; BAUMNGARDNER, M.F.; FRANZMEIER, D.P.; STOTT, D.E. & COSTER, D.C. High dimensional reflectance analysis of soil organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J., 56:865-872, 1992.

LAL, R. Tropical soil ecology and edaphology. Chichester, John Wiley & Sons, 1987. 732p.

- LAL, R. Effects of macrofauna on soil properties in tropical ecosystems. *Agric. Ecosys. Environ.*, 24:101-116, 1988.
- LEE, K.E. Soil animals and pedological processes. In: CSIRO Division of Soils. *Soil: an australian viewpoint*. London, Academic Press, 1983. p.629-644.
- LEE, K.E. & WOOD, T.G. Physical and chemical effects on soil of some Australian termites and their pedological significance. *Pedobiologia*, 11:376-409, 1971.
- LINDBERG, J.D. & SNYDER, D.G. Diffuse reflectance spectra of several clay minerals. *Am. Mineral.*, 57:485-493, 1972.
- LOFTY, J.R. Oligochaetes. In: DICKINSON, C.H. & PUGH, G.J.F. *Biology of plant litter decomposition*. London, Academic Press, 1974. p.467-488. v.2.
- MADEIRA NETTO, J.S.M. Étude quantitative des relations constituants minéralogiques - réflectance diffuse des latosols brésiliens/ application a l'utilisation pédologique des données satellitaires TM (region de Brasilia). Paris, Université Pierre et Marie Curie, 1991. 260p. (Tese de Doutorado)
- MADEIRA NETTO, J.S.M.; POUGET, M.; BEDIDI, A. & CERVELLE, B. Informações quantitativas sobre a mineralogia dos Latossolos a partir da reflectância espectral no visível e infravermelho próximo e médio (400 a 2.500 nm). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., Curitiba, 1993. Resumos. Curitiba, 1993. v.3, p.249-255.
- MATHEWS, H.L.; CONNINGHAM, R.L. & PETERSEN, G.W. Spectral reflectance of selected Pennsylvania soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 37:421-424, 1973.
- MIKLÓS, A.A.W. *Biodynamique d'une couverture pedologique dans la region de Botucatu (Brésil - SP)*. Paris, 1992. Université Paris VI. v.1, v.2. (Tese de Doutorado)
- MIKLÓS, A.A.W. Conceito ecológico do solo: O papel da biodiversidade na organização e dinâmica da cobertura pedológica. In: CURSO DE AGRICULTURA ECOLÓGICA, I. Campinas, 1995. *Anais. Campinas, CTAE/SAA*, 1995. p.41-54.
- MOUTINHO, P.R.S. Acabar com a saúva, mas nem tanto. *Ci. Hoje*, 18:10-11, 1995.
- NICODEMUS, F.E.; RICHMOND, J.C.; HSIA, J.J.; GINSBERG, I.W. & LIMPERIS, T. Geometrical considerations and nomenclature for reflectance. Washington, DC. U.S. Department of Commerce, 1977. 52p. (NBS monograph, 160)
- RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônomo, 1983. 31p. (Boletim técnico, 81)
- SHIPITALO, M.J. & PROTZ, R. Chemistry and micromorphology of aggregation in earthworm casts. *Geoderma*, 45:357-374, 1989.
- STONER, E.R. & BAUMGARDNER, M.F. Characteristic variations in reflectance of surface soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45:1161-1165, 1981.
- VALERIANO, M.M.; EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R. & OLIVIRA, J.B. Bi-directional reflectance factor of 14 soil classes from Brazil. *Int. J. Rem. Sens.*, 16:113-128, 1995.
- VITORELLO, I. & GALVÃO, L.S. Spectral properties of geologic materials in the 400 to 2.500 nm range: review for applications to mineral exploration and lithologic mapping. *Photo Interpret.*, 34:77-99, 1996.