

SEÇÃO V - GÊNESE, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

GÊNESE DOS LATOSSOLOS HÚMICOS E SUA RELAÇÃO COM A EVOLUÇÃO DA PAISAGEM NUMA ÁREA CRATÔNICA DO SUL DE MINAS GERAIS⁽¹⁾

A. C. SILVA⁽²⁾ & P. VIDAL-TORRADO⁽³⁾

RESUMO

Em uma área de 5.750 ha, situada no segmento central do Sul de Minas Gerais, realizou-se um estudo sobre a gênese dos Latossolos Húmicos (LH) e suas relações com a evolução da paisagem. Foram escolhidos dois sistemas morfopedológicos (SMI e SMII), representativos da geologia e da geomorfologia regional. Estudos analíticos (químicos, físicos e datação por ¹⁴C), morfológicos, micromorfológicos e geomorfológicos foram realizados nesses sistemas. Apresenta-se a hipótese de o horizonte húmico ser muito antigo, com uma melanização contínua e progressiva em profundidade, provocada principalmente pela alteração do carvão vegetal, mais abundante nestes solos do que em outros Latossolos que ocorrem na paisagem, e pelos organismos do solo. A decomposição do carvão no solo promove o aparecimento de material plásmico Bruno a Bruno Avermelhado-Escuro (7,5YR e 5YR 3/2 a 3/4) e constituiria o principal processo de melanização do horizonte húmico em profundidade. A adição, a transformação e a translocação de materiais no perfil do solo pela ação da fauna provocariam a formação de microagregados brunados, o escurecimento dos outros microagregados de origem não-biológica e o espessamento do horizonte húmico. Evidências de autoctonismo em SMII revelam grande estabilidade dos atuais topos da paisagem onde se encontram estes solos, o que favoreceria maior incidência dos grandes incêndios ocorridos no Quaternário, principal fonte do carvão redistribuído no perfil pela fauna do solo. A presença de Latossolos Húmicos nas atuais posições de meia encosta e sopé de SMII mostram transporte a curta distância da cobertura pedológica, ativado pelo basculamento de blocos levado a cabo no Quaternário. Espelhos de falha no saprolito e no solum de um Latossolo, mudança brusca da idade do carvão de um LH, entre 125 e 150 cm de profundidade (de 6.850 para 40.380 anos) e os abalos sísmicos atualmente verificados na região evidenciam a ação da tectônica ressurgente na evolução da paisagem. Assim, os Latossolos Húmicos poderiam ser considerados paleossolos relictos e, como tais, constituiriam um elo fundamental para o entendimento da dinâmica da paisagem regional.

Termos de indexação: melanização, carvão no solo, incêndios quaternários, datação por ¹⁴C, fauna do solo, tectônica ressurgente, relações solo-paisagem.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz - ESALQ/USP. Trabalho financiado pela FAPEMIG. Recebido para publicação em julho de 1998 e aprovado em janeiro de 1999.

⁽²⁾ Professor do ICAMV-UNIFENAS. Caixa Postal 23, CEP 37130-000 Alfenas (MG). E-mail: christo@artefinal.com.br.

⁽³⁾ Professor do Departamento de Ciência do Solo, ESALQ/USP. Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: pablo@carpa.ciagri.usp.br.

SUMMARY: *GENESIS OF HUMIC OXISOLS AND ITS RELATIONSHIPS WITH THE EVOLUTION OF THE LANDSCAPE OF A CRATONIC AREA IN THE SOUTH OF MINAS GERAIS STATE, BRAZIL*

A study on the genesis of Humic Oxisols and its relationships with the evolution of the landscape was carried out in an area of 5,750 ha in the central segment of the South of Minas Gerais Brazil. Two morphopedological systems (SMI and SMII), representative of the regional geology and geomorphology were chosen. Pedological (chemical, physical, morphological, micromorphological) and geomorphological studies, as well as soil charcoal quantification and radiocarbon dating were performed in four profiles classified as: Humic Xantic Hapludox and Typic Hapludox in SMI, and Humic Rhodic Hapludox and Rhodic Hapludox in SMII. The highly developed umbric epipedons of the humic Oxisols are thought to be very old and have a continuous, progressive melanization with depth, likely deeply affected by charcoal fragment decomposition and its redistribution by soil fauna. Charcoal is more abundant in these Oxisols than in others found elsewhere in the landscape. The addition, transformation and translocation of materials in the soil profile by the action of its fauna would provoke the formation of brown microaggregates, the darkening of the remaining microaggregates of nonbiological origin, and the thickening of the umbric horizon. In situ soil formation in SMII suggests a great stability of the plateau where humic Oxisols are found. This also suggests a higher incidence of fires at this landscape position during the Quaternary, which can explain the higher soil charcoal content in the Humic Oxisols. The occurrence of this kind of soils on the lower backslope and footslope of SMI indicates an important short-distance soil transport, probably as a consequence of substratum block tilting during Quaternary times. Fault mirrors in the saprolite and in the solum of one Oxisol, dramatic differences among charcoal datings between 125 and 150 cm of depth (from 6,850 to 40,340 years BP), as well as the seismic disturbances occurring at present in the area point to the role of resurgent tectonics in the evolution of the landscape. Thus, the humic Oxisols could be considered as relic paleosols and, as such, they would constitute a fundamental link to understand the dynamics of regional landscape.

Index terms: melanization, humox, charcoal, quaternary fires, ¹⁴C dating, soil fauna, tectonic resurgent, soil-landscape relationships.

INTRODUÇÃO

Latossolos Húmicos (LH) são solos que se diferenciam dos demais Latossolos por apresentarem horizonte A húmico, definido por EMBRAPA (1997) como horizonte com cores mais escuras (cor do solo úmido em amostras partidas e amassadas, com valores e cromas inferiores ou iguais a 3) e com conteúdo mínimo de C orgânico de $0,6 + (0,012 \times \% \text{ argila})$ até 100 cm de profundidade para solos profundos ou muito profundos. Tais solos são comumente encontrados em esparsas manchas no Sul de Minas Gerais, em áreas elevadas do leste e em outros estados do Brasil, quase sempre associados a áreas de relevo movimentado e de certa altitude, como nas "Serras do Mar e da Mantiqueira" (Lepsch & Buol, 1986). O hiperdesenvolvimento do horizonte A húmico nestes solos carece de explicações, não sendo até o momento completamente entendido. De acordo com Lepsch & Buol (1986), a ocorrência deste horizonte nestes solos poderia constituir um aspecto relictual derivado de uma forma única de condições ambientais favoráveis ao

acúmulo de matéria orgânica a grande profundidade e sua manutenção seria devida à estabilidade da superfície em que se encontra e à formação de complexos humus-argila.

Um dos aspectos mais marcantes desses solos é a presença de fragmentos de carvão vegetal distribuídos pelo perfil. Sua origem é atribuída a grandes incêndios florestais ocorridos no Quaternário, entre 3.000 e 6.000 anos atrás (Sanford et al., 1985; Lucas et al., 1993; Boulet et al., 1995; Pessenda et al., 1996). Restos da parte aérea de vegetação queimados e raízes carbonizadas em profundidade foram constantemente revolvidos pela ação da fauna do solo. A presença de carvões em profundidade foi considerada por Soubiés (1980) como indicio de alternâncias climáticas na Amazônia, ocupada por vegetação de cerrado na época dos incêndios. Porém, segundo Sanford et al. (1985), áreas florestais de clima úmido também podem sofrer queimadas.

A distribuição dos Latossolos Húmicos (LH) no Sul de Minas é intrigante e peculiar no campo da pedogênese. Tais solos são encontrados em esparsos

topos aplainados de uma paisagem formada por uma coalescência de colinas de relevo suave ondulado a ondulado. Nas adjacências, os LH ocorrem em áreas de relevo montanhoso a ondulado, constituídas pelos interflúvios dos reversos de blocos basculados (Silva, 1997), movimentados pelo menos desde o Terciário (Almeida, 1980; Mioto, 1984, 1990; Hasui, 1990; Hasui et al., 1990; Saadi, 1990, 1991). As escarpas do *front* desses blocos foram reconhecidas como escarpas de falha (Radambrasil, 1983). Esse contraste põe em dúvida as interpretações sobre a evolução dos solos e da geomorfologia regional. O entendimento dos processos que operaram na formação desses solos poderia contribuir significativamente para a elucidação de vários aspectos relacionados com a evolução de paisagens tropicais do Brasil Sudeste.

Pretendeu-se, neste trabalho, estudar os processos que teriam levado à formação dos Latossolos Húmicos do Sul de Minas Gerais e estabelecer relações entre a gênese e a distribuição desses solos com a evolução da paisagem.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização

A área considerada, 5.750 ha, localiza-se nos municípios de Machado e Alfenas (sul do estado de Minas Gerais), entre os paralelos 21°37' e 21°41' e os meridianos 45°51' e 45°57' WGR. É limitada ao leste, pelo rio Machado, ao norte, pela linha de topos das colinas suavizadas; ao sul, pela Serra dos Alemães e, ao oeste, pelo Ribeirão Caiana (Figura 1).

Clima e vegetação

O clima da região enquadra-se no tipo Cwb, segundo a classificação de Köppen, ou seja, subtropical moderado úmido (Camargo et al., 1962). O regime hídrico e o térmico do solo são, respectivamente, údico e isotérmico, (Resende et al., 1988).

A vegetação natural dominante é composta, segundo Golfari (1975), de floresta tropical perenifólia ou subperenifólia, com ocorrência de cerrado. Radambrasil (1983) descreve a região como de tensão ecológica, uma transição entre floresta e cerrado.

Geologia, geomorfologia e solos

A região dos estudos pertence ao cráton do Paramirim (Saadi, 1991) e está instalada em um grande bloco litológico triangular, bordado por dois cinturões de transcorrência dúctil, denominados "Cunha de Guaxupé" (Hasui et al., 1990). O embasamento rochoso pertence aos Complexos Amparo e Guaxupé (Radambrasil, 1983) e é constituído por rochas metamórficas de alto grau,

que apresentam faixas móveis em sua periferia, o que, de acordo com Guerra & Cunha (1995), caracteriza um cráton.

Dois compartimentos geomorfológicos distintos compõem o relevo (Figura 2). Para Camargo et al. (1962), as partes mais declivosas da paisagem são chamadas de superfície dissecada de topografia montanhosa e as partes mais aplainadas de superfície rebaixada de patamares colinosos, que podem corresponder, respectivamente, à Superfície Sul Americana e à Superfície Velhas (King, 1956).

Os solos predominantes são os Latossolos. Os solos Podzólicos ocorrem principalmente nos *fronts* dos blocos basculados, locais preferenciais para o rejuvenescimento e redistribuição da cobertura pedológica (Silva, 1997).

Trabalhos de campo

Os Latossolos Húmicos foram estudados nos dois sistemas morfopedológicos (SMI e SMII) mais representativos de uma ampla região do Centro-Sul de Minas (Figuras 3 e 4). Nestes sistemas, foram abertas três trincheiras em LH (P2 e P3 em SMI e P10 em SMII) e duas trincheiras em outros Latossolos (P8, LV, em SMI e P9, LE, em SMII), em

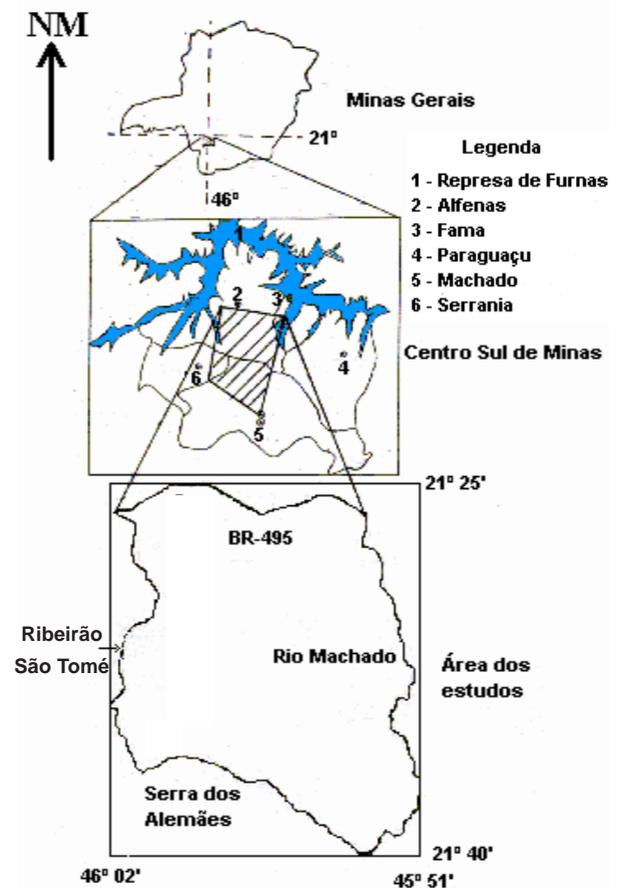


Figura 1. Localização da área de estudo.

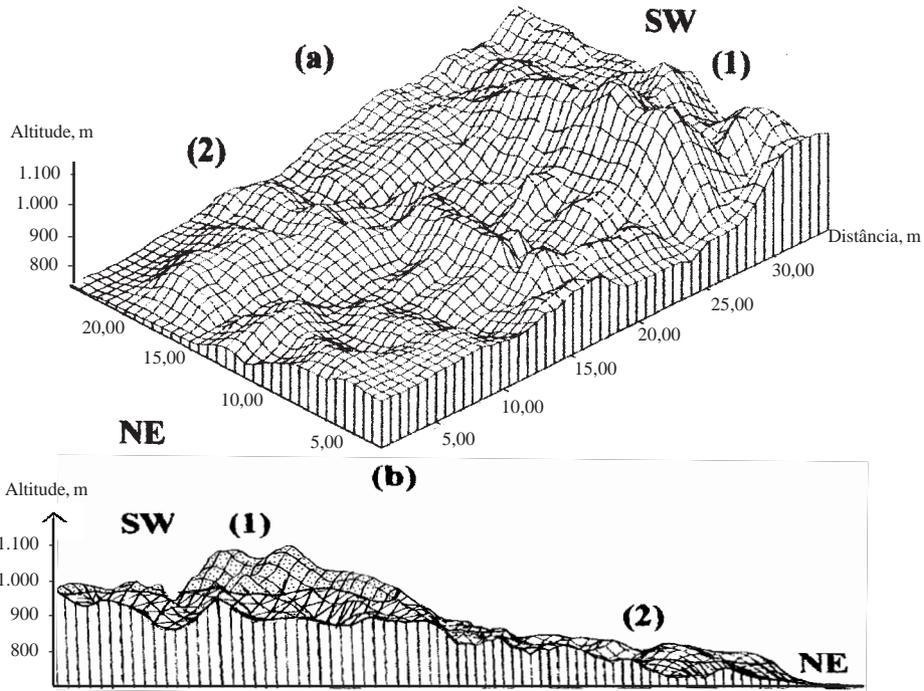


Figura 2. Blocodiagrama da área estudada. (a) vista frontal (b) vista lateral (1) superfície dissecada de topografia montanhosa, onde as cotas são mais elevadas (2) superfície rebaixada de patamares colinosos.

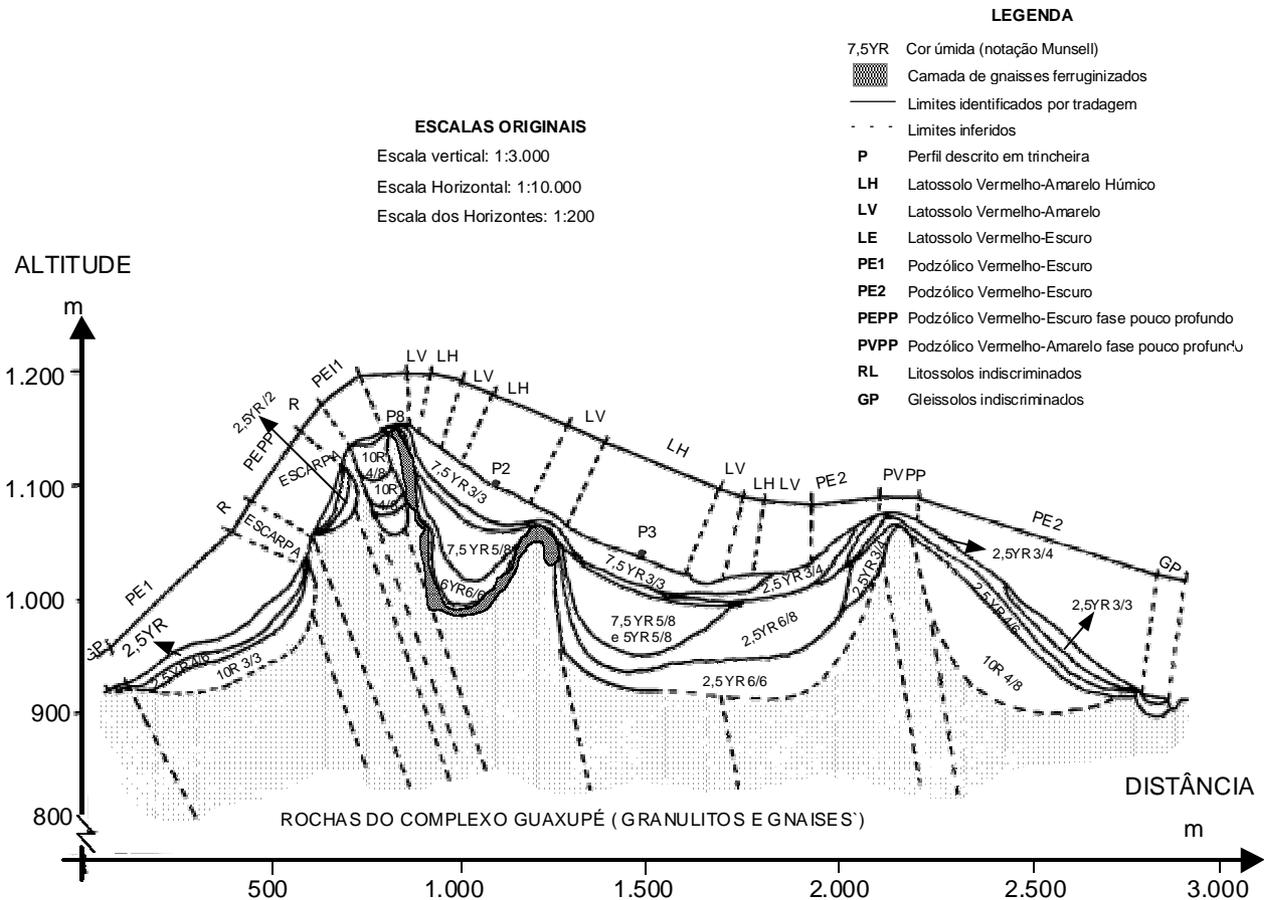


Figura 3. Sistema morfoedológico I.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Latossolos em áreas cratônicas

Os Latossolos *strictu sensu*, predominantes na área deste estudo, apresentam atributos, como: baixos valores de CTC, S e V%, relação silte/argila menor que 0,1, no Bw, e bem mais elevada, no BC e C, além de mineralogia caulinitico-gibsitica (Quadros 1 e 2), que atesta seu elevado estágio de intemperismo, resultante de repetidos ciclos de pedogênese. Tal comportamento é típico de regiões cratônicas tropicais como a estudada, caracterizada pela ausência de eventos de sedimentação de grande intensidade, pelo fato de o material de superfície ter ficado por muito tempo exposto à ação do intemperismo e sujeito a ser redistribuído pela paisagem. Como muitos Latossolos situados em áreas cratônicas do Sudeste e Centro-Oeste do Brasil (Lucas et al. 1993; Schaefer, 1996), os LH, LV e LE estudados poderiam ter idade terciária.

Idade do carvão e suas relações com a evolução da paisagem

Os resultados obtidos pela datação de fragmentos de carvão maiores que 0,2 cm (Quadro 3) evidenciam um aumento da idade com a profundidade nos dois perfis de Latossolo Húmico amostrados (P3 e P10), com exceção para a súbita elevação na idade do carvão de 6.850 para 40.380 anos atrás, verificada entre os horizontes AB e BA de P3. O aumento gradativo da idade do carvão foi constatado por Soubiès (1980), Sanford et al. (1985) e Lucas et al. (1993), em solos da Amazônia, por Boulet et al. (1995) e Pessenda et al. (1996), em solos do Triângulo Mineiro, situados a 250 km da área deste estudo. As idades encontradas pelos pesquisadores também se assemelham àquelas obtidas neste trabalho. Vale destacar que nenhum destes autores encontrou carvão com idade superior a 8.880 anos, tampouco mudanças bruscas em sua idade.

O carvão coletado no P10 (localizado no topo do SMII) (Figura 3) apresenta idades bem recentes na

Quadro 1. Teores de Fe, Ti, Zr, relação Ti/Zr; valores de teores Al³⁺, S, T, V, m e mineralogia das frações silte e argila dos perfis de Latossolo Húmico de SMI (P2 e P3) e de SMII (P10)

Perfil	Horizonte	Profundidade	Fe	Ti	Zr	Relação Ti/Zr	Al ³⁺	S	T	V	m	Mineralogia ⁽¹⁾	
												Silte	Argila
		cm	-g kg ⁻¹		mg kg ⁻¹		— mol _c kg ⁻¹ —			— % —			
P2	Ap	0-20					2,0	1,48	12,79	12	52,40		
	A2	20-95					2,0	1,18	10,78	11	62,25		
	A3	95-172	67	4,2	481	8,73	1,8	1,45	12,23	12	57,64	Qz(+)	Mi Ct(+)
	AB	172-212					1,3	2,09	9,79	21	40,59		
	BA	212-250					0,6	2,11	7,61	27	23,80		
	Bw	250-300					0,5	2,00	5,96	34	21,55	Qz(+)	Mi Ct(+)
	Bw	350-400					0,3	2,11	5,30	40	13,49	Qz(+)	Mi Ct(+)
	BC	530-555					0,1	2,21	4,08	54	4,73		
	BC	600-650					0,1	2,11	3,98	53	4,96		
	CB	650-690	73	2,6	347	7,49	0,1	1,67	3,32	50	6,18		Ct(+)
P3	Ap	0-20					0,1	8,22	12,22	68	1,2		
	A2	20-68					1,5	1,61	10,41	15	48,19		
	A3	68-113	63	5,1	580	8,79	1,6	2,65	15,58	17	44,32	Qz(+)	Mi Ct(+)
	AB	113-137					1,1	1,36	9,11	15	49,77		
	BA	137-160					1,0	2,6	8,85	18	44,67		
	Bw	220-270					0,1	2,66	5,13	44	5,23	Qz(+)	Mi Ct(+)
	Bw	320-370					0,2	1,88	4,26	44	11,68		
	BC	450-500	59	6,0	475	12,63	0,4	2,06	3,93	52	19,55	Qz(+)	Fp Ct
	C	580-600	51	5,2	397	13,10	0,4	1,92	4,05	48	20,61	Qz(+)	Fp Ct
P10	Ap	0-32					0,1	3,89	7,77	50	2,43		
	A2	32-65	107	14,0	664	21,08	0,7	1,50	11,73	13	30,30	Qz(+)	Mi Ct(+)
	A3	65-117					0,7	1,38	7,56	18	31,13		
	AB	117-152					0,3	1,40	6,35	22	17,45		
	BA	152-185					0,3	1,36	5,20	26	17,49		
	Bw	185-300	108	14,0	742	18,87	0,2	1,16	4,23	27	14,21	Qz(+)	Mi Ct(+)

⁽¹⁾ Simbologia: Qz = quartzo; Mi = mica; Ct = caulinita; Gb = gibsitica; (+) = predomínio; S = soma de bases; T = capacidade de troca de cátions; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio.

Quadro 2. Cor, teor de matéria orgânica (MO), granulometria, relação silte/argila e densidade do solo (Ds), dos perfis de Latossolo Húmico de SMI (P2 e P3) e SMII (P10)

Perfil	Horizonte	Profundidade	Cor	MO	Granulometria (TFSA) ⁽¹⁾						Relação silte/argila	Ds	
					AMG	AG	AM	AF	AMF	Silte			Argila
		cm			g kg ⁻¹							t m ⁻³	
P2	Ap	0-20	7,5YR 3/2	31,6	40	98	136	135	78	6	427	0,01	0,92
	A2	20-95	7,5YR 3/2	24,6	33	51	44	95	62	82	632	0,13	0,98
	A3	95-172	7,5YR 3/2	23,4	30	82	66	112	57	24	621	0,04	1,10
	AB	172-212	7,5YR 4/4	8,8	38	76	88	115	58	55	570	0,09	0,98
	BA	212-250	7,5YR 4/6	4,4	52	69	78	98	64	22	617	0,04	
	Bw	250-300	7,5YR 5/8	4,4	50	67	83	89	53	12	646	0,02	
	Bw	350-400	7,5YR 5/8	3,3	32	61	69	117	53	24	644	0,04	
	BC1	530-555	7,5YR 5/8 e 8/4	1,1	58	106	76	128	83	54	495	0,11	
	BC2	600-650	5YR5/6	0,8	59	152	132	144	90	43	380	0,11	
	CB	650-690	6YR6/6	0,6	21	147	192	157	102	104	277	0,38	
P3	Ap	0-20	7,5YR 2/2	29,9	25	65	68	117	74	86	565	0,15	1,00
	A2	20-68	7,5YR 3/2	25,2	33	63	95	96	68	20	625	0,03	1,00
	A3	68-113	7,5YR 3/3	24,0	35	59	65	108	62	23	648	0,04	1,32
	AB	113-137	7,5YR 4/4	9,8	24	58	69	113	62	26	648	0,04	1,23
	BA	137-160	7,5YR 5/6	5,0	30	52	62	117	62	37	640	0,06	1,25
	Bw	220-270	7,5YR 5/6	10,0	21	66	74	88	48	21	682	0,03	
	Bw	320-370	5,0YR 5/8	7,5	28	67	68	97	62	24	654	0,04	
	BC	450-500	2,5YR 5/6	7,5	11	91	103	95	65	133	502	0,26	
	C	580-600	2,5YR 6/6	6,3	5	89	93	134	79	448	152	2,95	
P10	Ap	0-32	2,5YR 3/2	34,9	28	117	139	136	49	65	475	0,14	0,97
	A2	32-65	2,5YR 3/2	24,3	14	80	110	147	46	38	565	0,07	0,93
	A3	65-117	2,5YR 3/3	23,3	11	59	91	128	59	30	622	0,05	0,98
	AB	117-152	2,5YR 3/4	12,9	11	51	76	110	45	34	675	0,05	0,99
	BA	152-185	2,5YR 4/6	9,6	16	53	61	122	51	43	654	0,07	0,96
	Bw	185-300	2,5YR 4/6	5,8	13	59	68	106	52	17	655	0,03	

⁽¹⁾ Simbologia : AMG: areia muito grossa; AG; areia grossa; AM: areia média; AF: areia fina; AMF: areia muito fina.

Quadro 3. Datação, pelo método do ¹⁴C, de fragmentos de carvão do solo maiores que 0,2 cm, coletados a diferentes profundidades em dois perfis de Latossolo Húmico

Perfil	Horizonte	Profundidade	Idade	Desvio-padrão
P3 (SMI)	Ap	0-20	2.260	± 90
	A2	20-68	3.600	± 40
	A3	68-113	5.330	± 50
	AB	113-137	6.850	± 50
	BA	137-160	40.380	+ 1100 - 970
P10 (SMII)	Ap	0-32	280	± 70
	A2	32-65	2.100	± 80
	AB	117-152	4.150	± 30

superfície (280 anos), alcançando 4.150 anos, a cerca de 135 cm de profundidade. Tal fato indica que os últimos incêndios ocorreram no período colonial (época da ocupação da área) e que os incêndios mais antigos deram-se praticamente nas mesmas épocas dos incêndios encontradas por Soubiés (1980), Sanford et al. (1985), Lucas et al. (1993) e por Boulet et al. (1995). A maior ocorrência de fragmentos de carvão nos Latossolos Húmicos (Quadro 4) deve estar associada à maior estabilidade das posições que estes solos ocuparam na paisagem Quaternária, como são os topos aplainados de SMII e os divisores de águas dos reversos dos blocos litológicos basculados de SMI. A vegetação, nestas posições que teriam sido mais estáveis antes do Holoceno, seria mais diversificada e estaria em um estágio sucessional mais avançado, com estrutura fitossociológica mais complexa. Nestes locais, a produção de carvão por ciclos de queimarebrota da vegetação e a ação da fauna do solo devem ter sido mais constantes e intensas, ao contrário das demais posições da paisagem, que teriam sido submetidas à maior erosão hídrica.

Quadro 4. Média dos teores de carvão, em diferentes profundidades, para perfis selecionados dos dois sistemas morfopedológicos estudados (SMI e SMII)

Camada	Perfil			
	P2 (LH)	P8 (LV)	P9 (LE)	P10 (LH)
cm	g 10kg ⁻¹			
0-20	32,3 (12,4) ⁽¹⁾	14,4 (5,6)	60,1 (18,2)	125,7 (27,7)
20-40	28,7 (10,7)	3,3 (1,6)	3,1 (1,5)	14,1 (8,8)
40-60	9,2 (5,1)	3,0 (1,0)	3,0 (1,3)	11,5 (7,3)
60-80	11,8 (4,3)	2,6 (1,1)	2,9 (2,0)	23,0 (11,9)
80-100	13,0 (8,1)	1,8 (1,1)	4,3 (3,3)	78,4 (22,4)
100-120	6,4 (2,4)	1,4 (0,9)	3,0 (1,0)	17,4 (6,7)
120-140	10,2 (3,7)	2,2 (1,7)	2,2 (1,3)	10,2 (4,8)
140-160	3,1 (2,1)	2,0 (1,6)	1,7 (1,1)	4,1 (3,1)
160-180	2,0 (1,3)	0,5 (0,3)	1,0 (0,6)	3,8 (2,0)
180-200	1,8 (1,0)	1,0 (0,7)	1,1 (0,8)	2,7 (1,8)

⁽¹⁾ Desvio-padrão; LH: Latossolo Húmico; LV: Latossolo Vermelho-Amarelo; LE: Latossolo Vermelho-Escuro.

Como P10 situa-se no topo de uma encosta e aparentemente não recebeu aporte de materiais coluviais, já que a relação Ti/Zr desses solos (Quadro 1) e a distribuição estatística das areias (escala Phi: dados não mostrados) não diferiram em profundidade, a hipótese mais provável de seu enterramento é a atividade da fauna do solo, como proposto por Boulet et al. (1995) para solos do Triângulo Mineiro.

Os fragmentos de carvão coletados em P3 (localizado em um sopé do SMI) (Figura 4) apresentam idade variando de 2.260 anos, na superfície, a 6.850 anos, no horizonte AB, localizado entre 113 e 137 cm de profundidade. Porém, no horizonte BA, localizado entre 137 e 150 cm de profundidade, a idade do carvão eleva-se bruscamente para 40.380 anos atrás (Quadro 3). A ausência de fragmentos de carvão mais recentes na superfície, a brusca elevação da idade do carvão entre os horizontes AB e BA e a descontinuidade estratigráfica constatada a 4 m de profundidade (Quadros 1 e 2) poderiam estar relacionadas com a tectônica ressurgente.

A reativação de falhas geológicas no Terciário e no Quaternário (Almeida, 1980; Radambrasil, 1983; Mito, 1984, 1990; Hasui, 1990; Hasui et al., 1990; Saadi, 1990 e 1991) provocaria o basculamento de blocos litológicos, acarretando movimentos de massa e reafeição do relevo, segundo esquema proposto na figura 5. A cobertura pedológica teria sido transportada a curta distância, ocasionando perda de parte do *solum*. Os espelhos de falha (superfícies

polidas com estrias, formadas pelo movimento de blocos com saprolito), identificados no campo nos horizontes B e C de um Latossolo e estudados por meio de lâminas delgadas (Figura 6), a mudança brusca da idade do carvão entre os horizontes AB e BA de P3 e os abalos sísmicos recentemente registrados na região (Mito, 1990) apoiam a hipótese apresentada de evolução do relevo com ação da tectônica ressurgente, que teria ocorrido no Holoceno, após um período de estabilidade tectônica.

Carvão do solo e pedogênese dos Latossolos Húmicos

O carvão, presente em quantidades significativas nos horizontes húmicos, foi encontrado em todas as frações areia e na fração silte analisadas com lupa, bem como nas lâminas delgadas investigadas. Mediante tradagens profundas, foi possível notar que, nos Latossolos Húmicos, ele ocorre a até 5,5 m de profundidade e, nas trincheiras, observou-se que chega a representar 7% da área do horizonte, concentrando-se na camada de 30-70 cm. Nos outros Latossolos, os teores de carvão só são significativos na camada de 0-20 cm. Nos horizontes subsuperficiais, são pouco representativos.

O teor de carvão no solo (Quadro 4) até 1 m de profundidade é muito superior nos LH aos encontrados nos outros Latossolos e está em consonância com o constatado por Pessenda et al. (1996) na Serra do Salitre (MG). Os maiores valores verificados na superfície são atribuídos a queimadas promovidas após a ocupação da área. Na camada de 80-100 cm, os LH apresentam maior concentração de carvão com idade entre 4.000 e 5.000 anos atrás (Quadro 3), que está relacionada com os grandes incêndios ocorridos nessa época (Lucas et al., 1993; Boulet et al., 1995; Pessenda et al., 1996). Os Latossolos situados na área mais estável da paisagem (P9 e P10 de SMII) são mais ricos em carvão do que os Latossolos de SMI (P2 e P8), onde foram encontradas evidências da ação de uma tectônica ressurgente.

O carvão, como componente do solo, influencia decisivamente a melanização do horizonte A. Presente em quantidades que variam de 3 a 8% em todas as lâminas delgadas de horizonte e subhorizontes húmicos analisados, pode ocorrer isoladamente (fragmentos maiores) ou constituindo o esqueleto fino e triado de microagregados de origem biológica (Figura 7).

Embora seja evidente essa ação melanizadora, não foi determinada a natureza das substâncias que possam estar impregnando a matriz do solo em decorrência da decomposição do carvão. A cor escura poderia ser conferida não apenas pela concentração de micropartículas de carvão, como também por substâncias advindas do resíduo pirolenhoso do carvão, que têm alto poder pigmentante (Andrade, 1993; Pimenta, 1995) e que poderiam ter condições

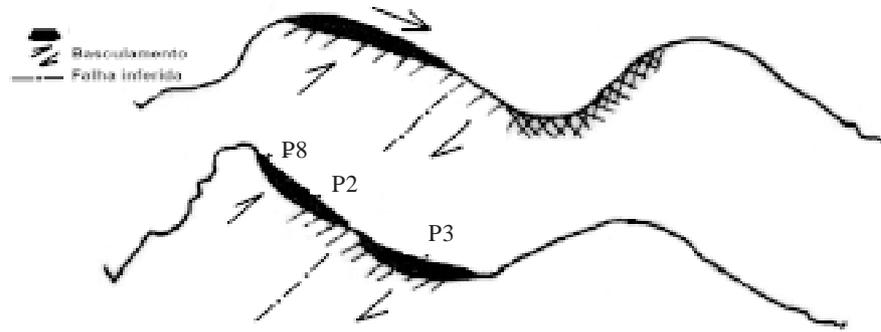


Figura 5. Esquema simplificado do transporte a curta distância do regolito, de SMI. (a) movimento de massa gerado pelo basculamento de blocos provoca transporte e (b) redistribuição do regolito ao longo do interflúvio do reverso dos blocos basculados.

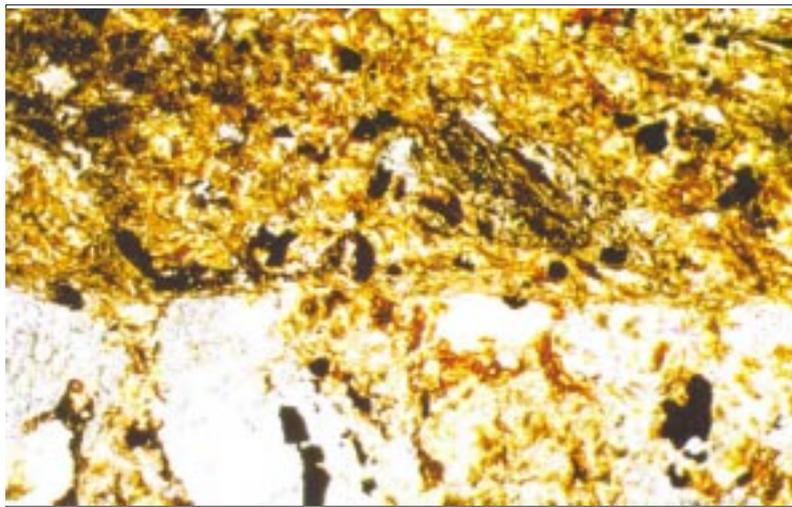


Figura 6. Fotomicrografia do espelho de falha no horizonte C de um Latossolo Vermelho-Escuro.

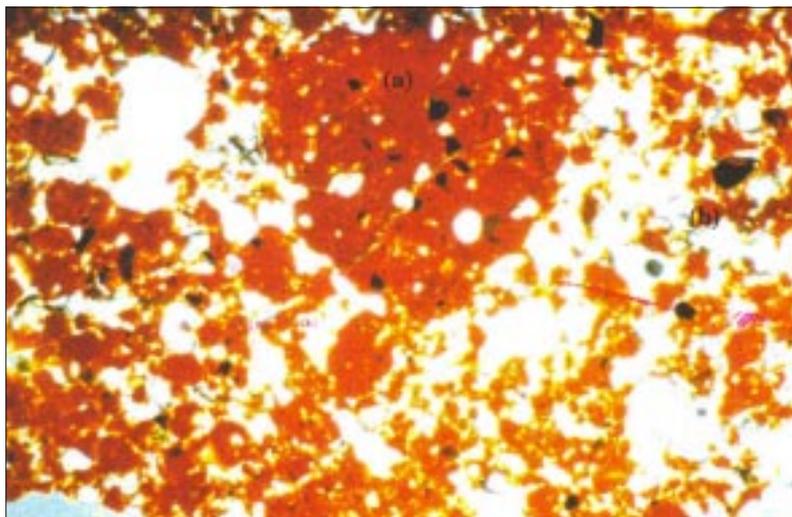


Figura 7. Fotomicrografia do horizonte Bw do Latossolo Vermelho-Escuro (LE), mostrando a ocorrência de (a) fragmentos de carvão constituindo o esqueleto triado de agregados de origem biológica e (b) fragmentos de carvão isolados no plasma.

de estabilidade aos valores de pH dos Latossolos estudados.

Atividade biológica e pedogênese

O hábito construtor e o alimentar da fauna do solo têm fundamental importância na melanização do horizonte superficial em profundidade, contribuindo para o aparecimento do horizonte A húmico, constituído por um emaranhado de biopedotúbulos preenchidos principalmente por microagregados de cor bruno-escuro, identificados como de origem biológica pelo alto grau de arredondamento e presença de esqueleto triado e relativamente fino (Eschenbrenner, 1986; Miklós, 1992). A figura 9 mostra a diminuição da densidade de biopedotúbulos preenchidos/área, com a profundidade. O horizonte A húmico é totalmente ocupado por estes biopedotúbulos, enquanto, no horizonte AB, eles representam 40% da área exposta, contra 25% em BA e apenas 10% em Bw. Nos outros Latossolos, a área ocupada pelos biopedotúbulos representa 50% no horizonte Ap, 25% em AB, 15% em BA e 10% em Bw.

As análises morfológicas e micromorfológicas corroboram as observações da figura 9. Esta constatação evidencia um espessamento gradual do horizonte húmico pela ação da fauna do solo, que constrói canais e cavidades, leva o material retirado para as camadas superiores e depois preenche-os com agregados de origem biológica fabricados nas proximidades da superfície. O material remontado para a superfície é avermelhado ou amarelado, de acordo com observações tomadas em campo e confirmadas nas lâminas delgadas, onde ocorrem como microagregados de origem biológica, de cor e valor altos, assim como são brunados muitos daqueles que preenchem os biopedotúbulos a grandes profundidades.

Os agregados de origem biológica maiores que 1 mm estão-se partindo em outros (Figura 10), dispersando-se na matriz do solo, aumentando-lhe o efeito de melanização. Tais agregados são formados pela cimentação de plasma e esqueleto por substâncias orgânicas produzidas pela fauna do solo, e o escurecimento de sua matriz também está relacionado com a decomposição do carvão presente no esqueleto.

Substâncias orgânicas, principalmente a humina, ligam-se às argilas, formando complexos muito estáveis (Dabin, 1976; Stevenson, 1982; Lepsch & Buol, 1986; Oades, 1989; Melo, 1994; Pessenda et al., 1996). Como os LH apresentam teores de matéria orgânica superiores a 20 g kg⁻¹ até a profundidades maiores que a 1,5 m, pode-se esperar que a maior estabilidade de seus agregados possibilite sua concentração residual, inteiros ou fragmentados, principalmente os de origem biológica, observados na figura 10. Como eles são mais escuros, já que são formados pela cimentação do plasma mineral e do

esqueleto por substâncias orgânicas produzidas pela fauna do solo, e considerando que o escurecimento de sua matriz também está relacionado com a decomposição do carvão presente no esqueleto, acredita-se que a melanização do horizonte A progrida com o tempo e em profundidade, pelo remonte vertical.

Observando os conteúdos de argilas dos horizontes superficiais dos LH, notou-se um gradiente textural que poderia indicar perdas de argila por erosão diferencial. A observação da fração areia de amostras desses horizontes sob lupa e microscópio petrográfico mostrou que cerca de 20%, em média, dos fragmentos de areia na verdade são microagregados de origem biológica muito densos, que não foram destruídos pela dispersão das amostras.

Xantização e Rubefação

O horizonte Bw dos Latossolos de SMI é Bruno-Amarelado (7,5YR), enquanto o mesmo horizonte da maioria dos Latossolos de SMII é Vermelho (2,5YR). Como os teores de Fe total obtidos por fluorescência de raios-X são praticamente os mesmos nos dois sistemas (Quadro 1), pode-se inferir que em SMI a xantização (goethização) foi favorecida, enquanto em SMII a rubefação (hematitização) prevaleceu.

A análise estrutural (Figura 3) mostra que nas partes rejuvenescidas da paisagem de SMI, onde não ocorreu acúmulo temporal de matéria orgânica, os solos apresentam uma cor vermelha intensa, comprovando o domínio hematítico nesse ambiente, devido às temperaturas médias anuais elevadas e à boa drenagem interna desses solos. Nas posições onde houve acúmulo de matéria orgânica, os solos estão num sistema mais confinado, como no caso do anfiteatro suspenso a 1.000 m de altitude, onde até mesmo a alteração da rocha mostrou-se bruno-amarelada (Figura 3). A coexistência de três fatores que controlam a formação dos óxidos de Fe, que vêm a ser a maior atividade da água, a menor temperatura (SMI está a 1.100-1.200 m enquanto SMII está 800 m) e a presença de conteúdos elevados de matéria orgânica favoreceu a via goethítica (Melfi et al., 1979; Curi & Franzmeier, 1984; Schwertmann & Taylor, 1989), tendo promovido a xantização dos LH do SMI.

A análise estrutural de SMII (Figura 4) mostra que a cor do horizonte Bw dos Latossolos só muda de 2,5YR para 5 ou 6YR no terço inferior da encosta, onde o lençol freático está mais próximo da superfície. Apesar de haver acúmulo de matéria orgânica em topos da colina suave, trata-se de um sistema mais aberto e com drenagem mais rápida, sem obstáculos à drenagem como ocorre no SMI (Figura 3), o que certamente diminui a atividade da água nos poros do solo. Embora no SMII os LH também possuam teores de matéria orgânica semelhantes aos LH do SMI, a diferença de altitude (850 m contra 1.050-1.200 m) teria proporcionado

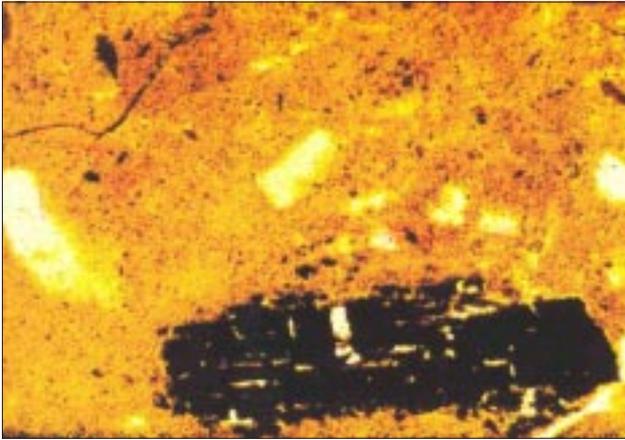


Figura 8. Fotomicrografia de um fragmento de carvão se decompondo, resultando em material plásmico Bruno a Bruno Avermelhado Escuro.

uma temperatura mais elevada em SMII e isso, associado à menor atividade da água no sistema, em detrimento dos também elevados teores de matéria orgânica, favorece a via hematítica na transformação do Fe no solo (rubefação).

Tais constatações concordam com a bibliografia que considera que as variações de temperatura causadas por diferenças significativas na altitude, na mesma zona climática, podem afetar a relação hematita/goethita, pois altera o microclima (Kampf & Schwertmann, 1983; Schwertmann & Taylor, 1989; Cornell & Schwertmann, 1996).

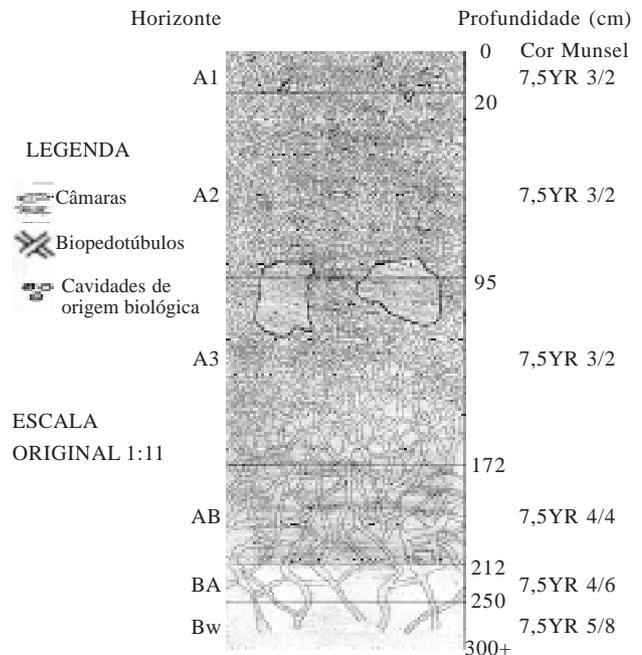


Figura 9. Arranjo dos biopedotúbulos e cor dos horizontes do Latossolo Húmico (P2).

CONCLUSÕES

- Os fragmentos de carvão maiores que 0,2 cm, encontrados a até 137 cm de profundidade nos LH, estão relacionados com incêndios ocorridos a partir de 6.850 anos a.p.

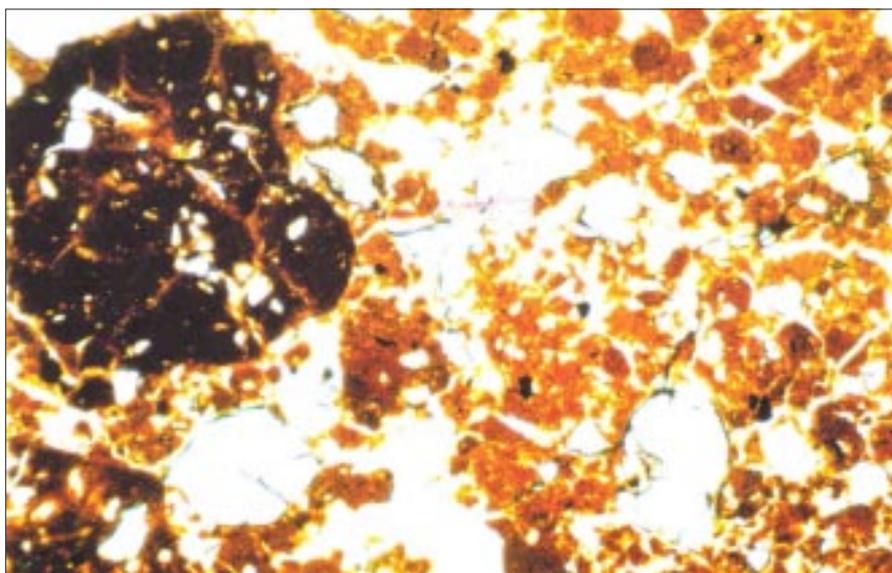


Figura 10. Fotomicrografia do horizonte A2 do Latossolo Húmico (P2). Em detalhe microagregado de origem biológica se partindo.

2. O horizonte A húmico teria sido formado a partir de intensa melanização durante longo período de tempo em superfícies estáveis e antigas, provavelmente do Terciário médio. Destas superfícies, restariam remanescentes, submetidos a vários ciclos de intemperismo, de pedogênese, de ação da fauna do solo e de cobertura vegetal. Estes remanescentes seriam os atuais topos de SMII e os interflúvios dos reversos dos blocos litológicos basculados de SMI.

3. No início do Holoceno, movimentos de massa teriam provocado transporte da cobertura pedológica a curta distância nos reversos dos blocos basculados de SMI.

4. A adição, a transformação e a translocação de materiais orgânicos no perfil do solo pela ação da fauna do solo provocaram a formação de agregados brunados, o escurecimento dos outros microagregados de origem não-biológica e o espessamento do horizonte húmico.

5. Os LH contém maior teor de carvão do que os demais Latossolos da paisagem local, pela presença desses solos nos remanescentes das superfícies terciárias, menos desgastados pela erosão, portanto, mais sujeitos à ocorrência de incêndios, já que a vegetação teria sido mais constante ao longo do tempo e estaria em um estágio sucessional mais avançado.

6. A decomposição do carvão resultou em material plásmico bruno-escuro, contribuindo significativamente para a melanização do solo em profundidade.

AGRADECIMENTO

À FAPEMIG, pelo auxílio financeiro; ao professor Allaouá Saadi, da UFMG, pelas sugestões e pela colaboração e ao professor Felipe Macias Vázquez, da Universidade de Santiago de Compostela-Espanha, por facilitar e financiar as datações de ¹⁴C nas amostras de carvão no Centre for Isotope Research da Groningen University (Holanda).

LITERATURA CITADA

- ALMEIDA, A.F.M.; HASUI, Y.; DAVINO, A. & HARALY, N.L.E. Informações geofísicas sobre o oeste mineiro e seu significado geotectônico. *An. Acad. Bras. Ci.*, 52:49-60, 1980.
- ANDRADE, A.M. Tecnologia química dos produtos florestais. Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1993. 132p.
- BOULET, R. Análise estrutural da cobertura pedológica e topografia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21, Campinas, 1987. Resumos. Campinas, SBCS, 1987. p.79-90.
- BOULET, R.; PESSEDA, L.C.R.; TELLES, E.C.C. & MELFI, A.J. Une évaluation de la vitesse de l'accumulation de matière par la faune du sol. Exemple des Latossols de versantes du lac Campestre, Salitre, Minas Gerais, Brésil. *Paris, C. R. Acad. Sci.*, t.320, 1995. p.287-294.
- CAMARGO, M.N.; HIRANO, C.; FREITAS, F.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANTUNES, F.S.; SILVEIRA, C.O. & BENNEMA, J. Levantamento dos solos da região de influência do reservatório de Furnas. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1962. 462p.
- CORNELL, R.M. & SCHWERTMANN, U. The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses. Weinheim, VCH, 1996. 573p.
- CURI, N. & FRANZMEIER, D.P. Toposequence of oxisols from the Central plateau of Brasil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48:341-346, 1984.
- DABIN, B. Curso sobre matéria orgânica do solo. Parte I. Análise dos compostos húmicos do solo. Piracicaba, CENA, 1976. 55p. (Apostila)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1979. não paginado.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solo: 4ª aproximação. Rio de Janeiro, 1997. 169p.
- ESCHENBRENNER, V. Contribution des termites à la micro-aggregation des sols tropicaux. *Cah. ORSTOM, ser. Ped.*, XXII, v.4, p.387-408, 1986.
- ESPEN, P.; NULLENS, H. & ADAMS, F.A. A computer analysis of X-ray fluorescence spectra. *Nucl. Instrum. Methods*, 142:243-250, 1977.
- ESPEN, P.; JANSSENS, P. & SWENTER, I. Axil X-ray analysis software. Users manual. Version 3.1. Camberra, Benelux, 1991. 72p.
- GOLFARI, L. Zoneamento ecológico do estado de Minas Gerais para reflorestamento. Belo Horizonte, IBDF, 1975. 65p.
- GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 2.ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1995. 472p.
- HASUI, Y. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. *Bol. Soc. Bras. Geol., Núcleo Minas Gerais*, 11:131-157, 1990.
- HASUI, Y. HERBERT, H.D. & COSTA, J.B.S. Estruturação de extremidade oriental da chamada Cunha de Guaxupé: dados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, Natal, 1990. Anais. Natal, Sociedade brasileira de Geologia, 1990. p.2296-2308.
- JONG van LIER, Q. & VIDAL-TORRADO, P. PHI: Programa de microcomputador para análise estatística da granulometria de sedimentos. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:277-281, 1992.
- KAMPF, N. & SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in Southern Brazil and their application in classification of caolinitic soils. *Geoderma*, 29:27-39, 1983.
- KING, L. A Geomorfologia do Brasil Oriental. *R. Bras. Geogr.*, 18:147-256, 1956.

- LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3. ed. Campinas, SBCS/CNPS, 1996. 83p.
- LEPSCH, I.F. & BUOL, S.W. Oxisol Landscape relationships in Brazil. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORK SHOP, 13, Campinas, 1986. Part 1: papers. Campinas: SNLCS/EMBRAPA, USDA, University of Puerto Rico, 1986. p.174-189.
- LUCAS, Y.; SOUBIES, F.; CHAUVEL, A. & DESJARDINS, T. Estudos do solo revelam alterações climáticas da Amazônia. *Ci. Hoje*, 16:36-39, 1993.
- MELFI, A.J.; PEDRO, G. & VOLKOFF, B. Natureza e distribuição dos compostos ferríferos do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 3:47-54, 1979.
- MELO, W.J. Matéria orgânica do solo. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 1994. 68p. (Apostila)
- MIKLÓS, A.A.W. Byodinamique d'une couverture pedologique dans la region de Botucatu, Brésil. Paris, Université Paris VI: 1992. 438p. (Tese de Doutorado)
- MIOTO, J.A. Mapa de risco sísmico do sudeste brasileiro. São Paulo, IPT, 1984. (Monografia, 10 - ITP, 1563)
- MIOTO, J.A. Tentativa de zoneamento sísmico do sudeste brasileiro. *Bol. Soc. Bras. Geol. - Núcleo Minas Gerais*, 11:33-45, 1990.
- OADES, J.M. An introduction to orgânic matter in mineral soils. In: Mineral in soil environments. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 1989. p.89-159. (SSSA Book series, 1)
- PESSENDA, L.C.R.; RAMON ARAVENA; MELFI, A.J.; TELLES, E.C.C.; BOULET, R.; VALENCIA, E.P.E. & TOMAZELLO, M. The use of carbone isotopes (¹³C, ¹⁴C) in soil to avaluate vegetation changes during the holocene in central Brasil. *Radiocarbon*, 38:191-201, 1996.
- PIMENTA, A.S. Obtenção de adesivos fenólicos por copolimerização de fenol com alcatrão ou creosoto de eucalipto. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 108p. (Tese de Doutorado)
- RADAMBRASIL. Levantamento dos recursos naturais: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Folhas SF. 23/24, Rio de Janeiro/Vitória. Rio de Janeiro, Ministério das Minas e Energia, 1983. 780p.
- RESENDE, M.; CURI, N. & SANTANA, D.P. Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações. Brasília, MEC/ESAL/POTAFOS, 1988. 81p.
- SAADI, A. Um "Rift" neocenoico na região de São João Del Rei (MG). *Bol. Soc. Bras. Geol. - Núcleo Minas Gerais*, 11:63-79, 1990.
- SAADI, A. Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 1991. 160p. (Tese - Professor Titular)
- SANFORD, R.L.; SILDARRIAGA, J.; CLARK, K.E.; UHL, C. & HERRERA, R. Amazon rain forest fires. *Science*, 227:53-55, 1985.
- SCHAEFER, C.E. The microestruure of Latosols as long-term biotic constructs (Compact disc). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, Águas de Lindóia, 1996. Anais. Piracicaba, SBCS/SLCS, 1996.
- SILVA, A.C Dinâmica da cobertura pedológica de uma área cratônica do Sul de Minas Gerais. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luíz de Queiróz-USP, 1997. 191p. (Tese de Doutorado)
- SOUBIÉS, F. Existence d'une phasé seche en Amazonie Brésilene par la presence de charbons dans le sols (6000-3000 ans BP). *Cah ORSTOM, sér. Geol.*, 11:133-148, 1980.
- SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R.M. Iron Oxides. In: Minerals and environments. 2.ed. Madison: SSSA, 1989. p.379-438. (SSSA Book series, 1)
- STEVENSON, F.J. Hymus chemistry. New York, John Willey & Sons, 1982. 443p.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)