

# **EVOLUÇÃO DE ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO EM GLEISSOLO HÁPLICO NO PLANALTO DA SERRA DO MAR, RIO GUARATUBA (SP)<sup>(1)</sup>**

**M. ROSSI<sup>(2)</sup> & J. P. QUEIROZ NETO<sup>(3)</sup>**

## **RESUMO**

**A bacia do Guaratuba situa-se no Parque Estadual da Serra do Mar com cabeceiras no Planalto Atlântico. Apresenta rochas gnáissicas em relevo de morros paralelos, declives acentuados e vegetação de Mata Atlântica, localmente de porte baixo, com clima tropical úmido e precipitação maior que 2.000 mm ano<sup>-1</sup>, sem estação seca. Há predomínio de Argissolos Vermelho-Amarelos (Podzólicos) e Cambissolos Háplicos (Cambissolos), com indícios de hidromorfismo. Nesse setor, em uma seqüência transversal à linha de maior declive de uma vertente, estudou-se uma associação Espodossolo Ferrocárbico hidromórfico típico álico (podzol hidromórfico) (ESg) e Gleissolo Háptico Tb distrófico típico álico ou não (glei pouco húmico) (GXbd), assentada sobre seixos rolados e alteração do gnaisse, por meio de estudos detalhados em uma toposseqüência, definindo-se um sentido de evolução para esses solos. Os solos da área em posição elevada e paralela ao fundo do vale, bem como sua composição de seixos e areias de quartzo/quartzito, levam a propor origem de deposição fluvial em antiga várzea, hoje suspensa como terraço. Nessa associação, ocorre uma transformação Espodossolo em Gleissolo, evidenciando que os solos desenvolveram-se dependentes de ambientes sucessivos, relacionados com a presença de vegetação florestal densa (matéria orgânica ácida) e de clima quente e úmido em um clima anterior, provavelmente com estação seca de início (formação do ESg), seguido de clima atual sem estação seca (maior umidade-gleização, formação do GXbd), sendo pouco relacionados com modificações dos materiais originários (seixos e gnaisses).**

**Termos de indexação: pedologia, gênese, toposseqüência.**

---

<sup>(1)</sup> Parte de Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada no 27 Congresso Brasileiro de Ciência do Solo em Brasília. Recebido para publicação em julho de 2000 e aprovado em dezembro de 2001.

<sup>(2)</sup> Pesquisador Científico do Instituto Agronômico – IAC. Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas (SP). Email: rossi@barao.iac.br

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Geografia – FFLCH, Universidade de São Paulo - USP. Caixa Postal 2350, CEP 10600-970 São Paulo (SP). Email laboped@edu.usp.br

**SUMMARY:** *EVOLUTION OF ESPODOSOL FERROCARBIC TO HAPLIC GLEISOL IN THE SERRA DO MAR PLATEAU, RIO GUARATUBA, SÃO PAULO, BRAZIL*

The Guaratuba watershed is located at the "Parque Estadual da Serra do Mar" and has its headwaters in the Atlantic plateau. The area has a gneissic bedrock in a parallel hilly relief with high slope gradient, covered by the Atlantic forest consisting mostly of low size trees. The climate is humid tropical with rainfall of 2,000 mm year<sup>-1</sup>, with no dry season. The predominant soils are Red Yellow Argisol (Typic Kandiodults or Paleodults and Typic or Lithic Hapludults) and Haplic Cambisol (Typic Dystropepts or Typic Haplumbrepts) with redoximorphic features. In this area, in a right angle transverse by across the greatest slope gradient, the association of Ferrocyclic Espodosol (Arenic Haplaquods or Typic Haplorthods) and Haplic Gleisol (Typic Haplaquents) laid over gneiss-altered material was studied as well as pebbles of fluvial origin and sands. The soils' evolution was also studied in detail along the topographic sequence. The soils of the area on a higher position and parallel to the bottom of the valley bottom, and the quartzose composition of the pebbles and sands indicate a fluvial deposition origin from a former fluvial plain that occurs today as an elevated terrace. These observations indicate that the soils were developed due to a succession of different environments, a dense forest vegetation (acid organic matter) and humid and hot climate, probably with dry season, in the beginning (Arenic Haplaquods or Typic Haplorthods development) followed by one with no dry season (greater humidity, Typic Haplaquents development), less dependent on parent material (pebbles and sands, and gneiss).

*Index terms:* pedology, soil genesis, toposequence.

## INTRODUÇÃO

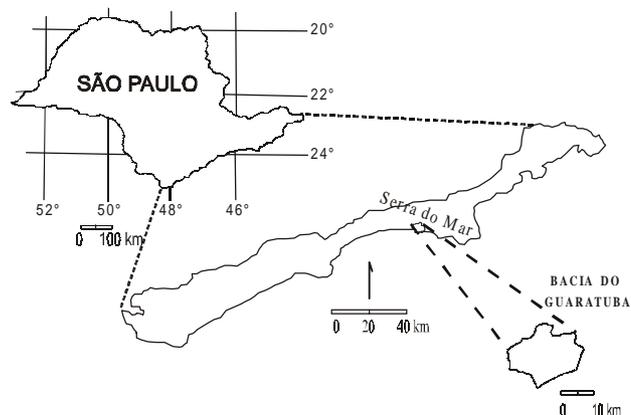
A área deste estudo situa-se no Parque Estadual da Serra do Mar, que hoje se configura, do ponto de vista conservacionista, como a maior unidade de conservação do estado de São Paulo, e abrange em sua totalidade 309.948 ha. Representa importante remanescente da flora e fauna da região, caracterizada pela ocorrência da Mata Atlântica possuidora de rica biodiversidade.

Encontra-se na Estação Biológica de Boracéia, originada da antiga Estação Experimental do Instituto Agrônomo de Campinas, criada para o cultivo da Quina (utilizada no combate à malária). Hoje é administrada pelo Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (USP) e amparada pela Reserva Florestal de Casa Grande na proteção dos mananciais, administrada pela Companhia de Saneamento Básico do estado de São Paulo (SABESP), que capta água para a cidade de São Paulo. Encontra-se nos limites entre o litoral de Santos e de São Sebastião entre as coordenadas 45°47'43" e 45°55'56" de Longitude Oeste e 23°38'37" e 23°46'12" de Latitude Sul (Figura 1).

A bacia do Guaratuba insere-se na província geomorfológica do Planalto Atlântico e abrange parte do complexo cristalino, composto, sobretudo, por rochas granito-gnáissicas, em relevo de morros paralelos com planícies fluviais restritas. Apresenta-

se revestida por formações superficiais pouco espessas de Argissolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo Háptico, recobertas pela floresta tropical (Mata Atlântica), com clima tropical úmido e precipitação > 2.000 mm ano<sup>-1</sup>, sem estação seca (Rossi, 1999).

Nessa área, foi encontrada uma configuração topográfica que pode corresponder a um terraço fluvial, que se destaca na paisagem e revela uma seqüência onde se acham associados Espodosolos e Gleissolos, com características nítidas de



**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo.

transformação pedológica (Rossi, 1999). Dessa forma, pelo estudo dessa seqüência, procurou-se identificar e definir os processos de evolução desses solos.

## MATERIAL E MÉTODOS

A toposseqüência estudada situa-se em pequeno patamar do terço inferior de uma vertente talvez correspondendo a um terraço fluvial assentado sobre o embasamento rochoso alterado (Figura 2). Essa área está situada no sistema de morros paralelos do planalto do Guaratuba, apresentando uma associação de Espodossolo Ferrocárbico hidromórfico típico álico (podzol hidromórfico) (ESg) e Gleissolo Háplico Tb distrófico típico álico ou não (glei pouco húmico) (GXbd).

O procedimento empregado inspirou-se na proposta da análise estrutural da cobertura pedológica (Boulet et al., 1982a,b,c; Boulet, 1988) que propõe a observação detalhada dos perfis de solo ao longo de uma toposseqüência. Para tanto,

estabeleceu-se a toposseqüência acompanhando um barranco de estrada de mais de 600 m de comprimento, reavivado na ocasião. O levantamento topográfico foi realizado com emprego de topofil, trena e clinômetro, obtendo-se a base para a reprodução das descrições morfológicas dos solos e para a reprodução da organização da cobertura pedológica atingindo sempre o horizonte Cr, descrevendo detalhadamente os horizontes pedológicos e definindo suas transições.

Prospecções suplementares com trado foram efetuadas para identificar a continuidade dos atributos perpendicularmente à toposseqüência. Foram descritos 38 perfis que incluem Espodossolos e Gleissolos, sendo apresentados na figura 3 os mais representativos da cobertura pedológica estudada. Os perfis T3.28 e 28A, e T3.35 e 35A foram escolhidos para mostrar as transformações e a passagem do Espodossolo em Gleissolo, que se observa também nos perfis indicados na figura 3.

Nesses pontos de prospecção (Figura 3), coletaram-se as amostras de solo das diferentes camadas ou horizontes para análise laboratorial (físicas e químicas). Assim, construiu-se o perfil topográfico,

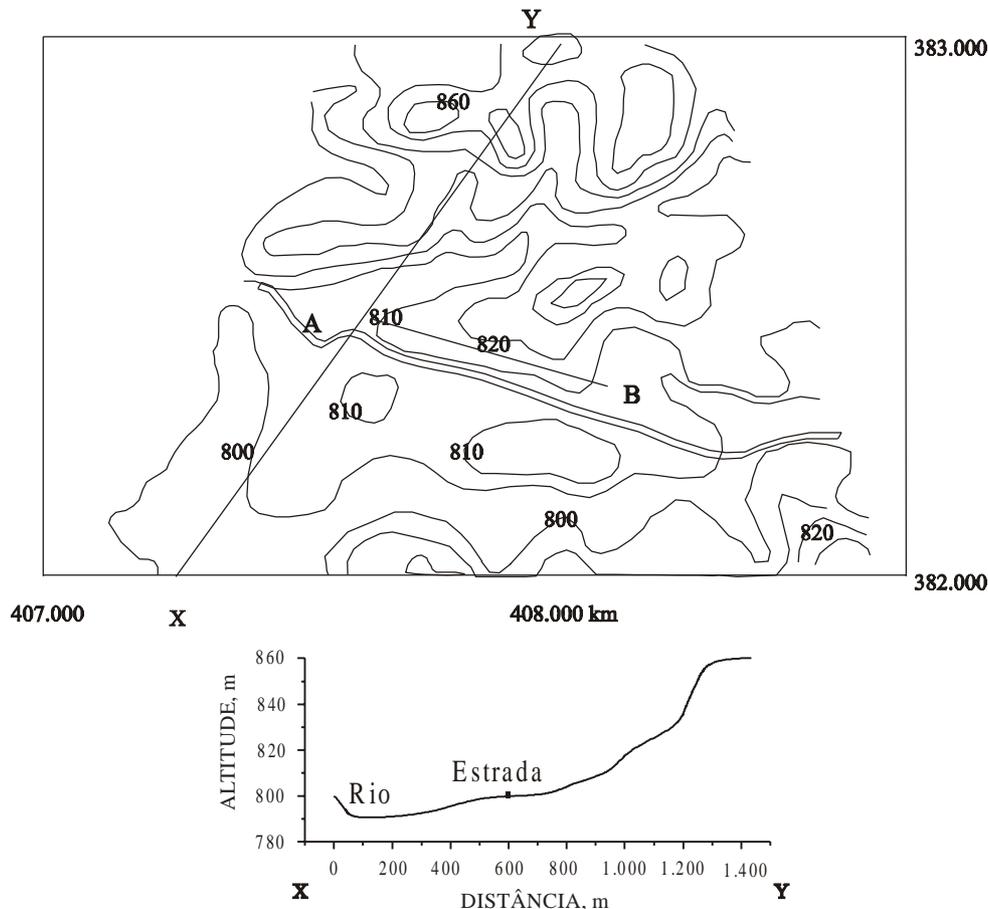
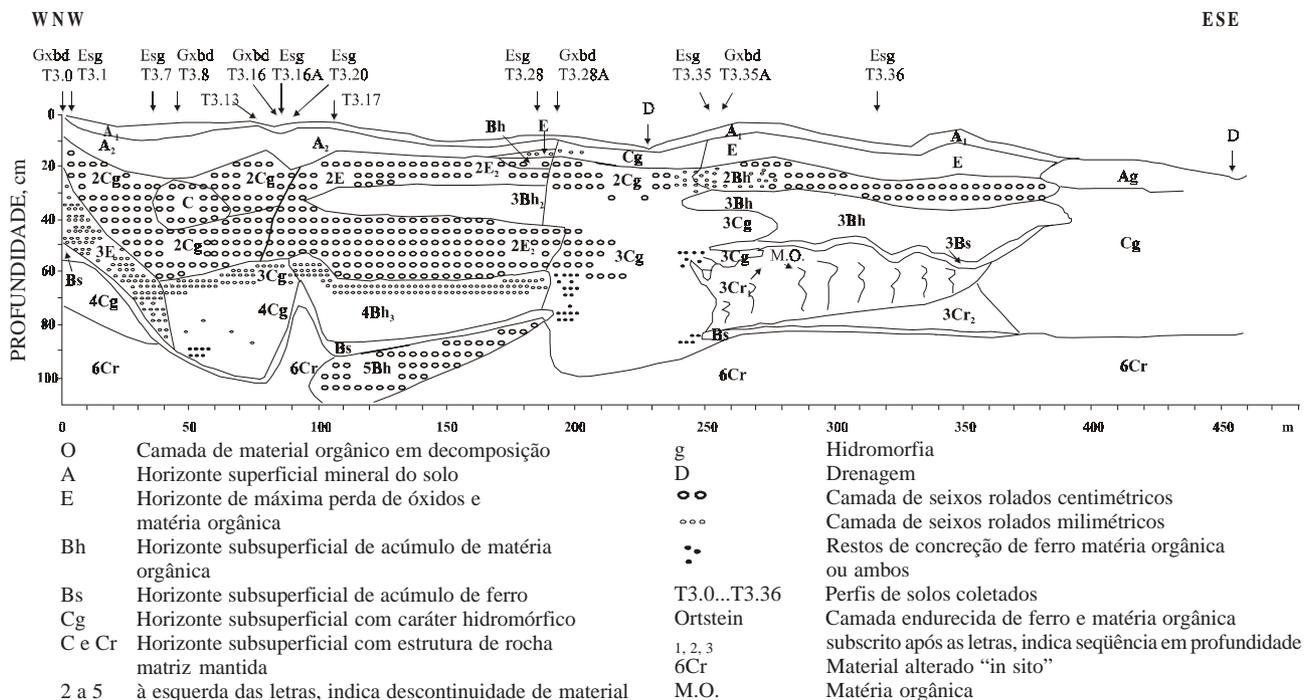


Figura 2. Representação do relevo local e localização da toposseqüência estudada. X - Y = perfil representativo do relevo local; A - B = toposseqüência estudada.



**Figura 3. Representação reduzida da toposseqüência mostrando os Espodosolos (ESg) e Gleissolos (GXbd) da área de estudos. Na figura 4, estão representados em detalhe os perfis T3.28 e 28A, e T3.35 e 35A.**

mostrando a distribuição dos solos, do relevo e da geologia da área que permitiu definir o sentido da evolução desses solos.

Nos perfis estudados, foram descritos os atributos morfológicos dos solos, de acordo com EMBRAPA (1979) e Lemos & Santos (1996). Nas amostras coletadas, efetuaram-se análises físicas (granulometria: areias, silte e argila), químicas (cátions trocáveis - Ca, Mg, K, Na; acidez extraível - Al, H; pH em água e KCl; matéria orgânica e Fe total por ataque sulfúrico), utilizando-se como índices: Soma de bases (S) = Ca + Mg + K + Na; Capacidade de troca catiônica (T) = S + Al + H; Saturação por bases (V%) = 100 S/T; Saturação por Al (M%) = 100 Al/(S + Al); Atividade de argila = T x 100%/ argila, em que Ta > ou = 27 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> e Tb < 27 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, conforme indicado por Camargo et al. (1986) e EMBRAPA (1999).

A identificação e a classificação das unidades de solos e de mapeamento seguiram a proposição do CNPS/EMBRAPA (Camargo et al., 1987; Oliveira et al., 1992), definindo os horizontes diagnósticos identificados no campo e laboratório e, posteriormente, ajustados para o sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 1999).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A toposseqüência apresenta sucessivas passagens de Espodosolo Ferrocárbico hidromórfico típico álico

(podzol) para Gleissolo Háptico Tb distrófico típico álico ou não (glei pouco húmico) (Figura 3) com transição abrupta, porém progressiva ou interdigitada em curta distância. Esses solos desenvolvem-se sobre uma sobreposição de diferentes materiais, inicialmente areias com matéria orgânica, sobre camadas descontínuas de seixos rolados de diversos diâmetros, assentadas sobre material fino siltoso e micáceo de alteração do gnaiss, por vezes interpenetrado por matéria orgânica e ferro. Essa seqüência ocorre sob vegetação de mata, com indivíduos arbóreo-arbustivos de porte baixo a médio.

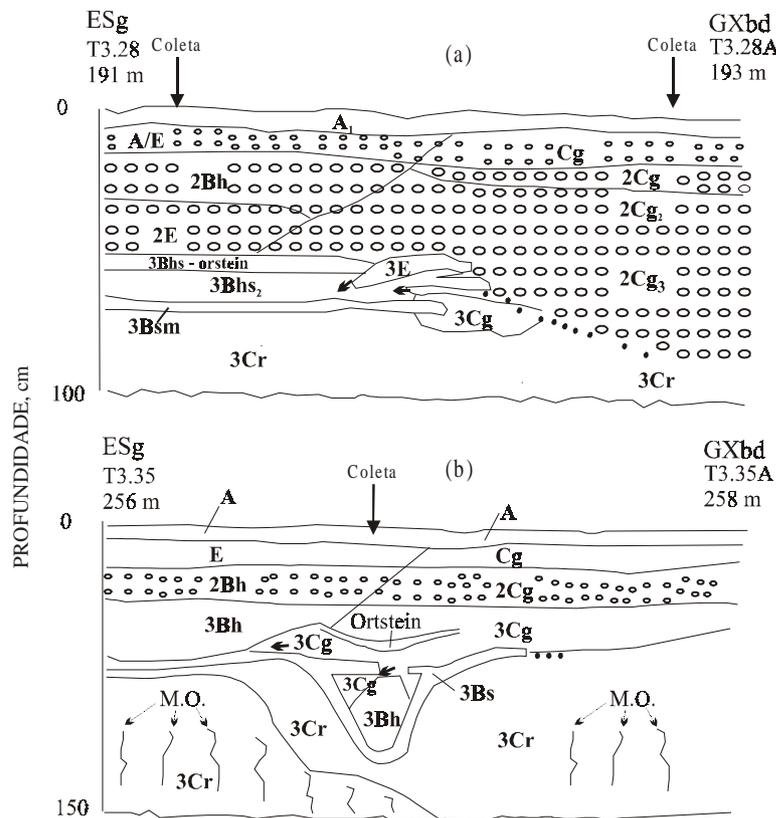
A figura 3 mostra o horizonte superficial A comum a toda a seqüência; abaixo deste, um nível de seixos em quase toda a extensão estudada de WNW, após espessar-se, bifurca-se até atingir a parte central. Logo abaixo, observa-se outro nível, mais estreito e de seixos menores. Outra camada de seixos aparece como uma lente isolada na parte basal dos perfis. Essas camadas de seixos aparentemente correspondem a um terraço fluvial (planície suspensa), que sofreu processo de deposição de baixa seleção (areia grossa, cascalho fino e grosso). Em sua base, aparece a rocha alterada de estrutura conservada (Cr), material fino siltoso com minerais primários (mica e feldspato). Sobre esses materiais, sem respeitar seus limites, sucedem-se lateralmente perfis de Espodosolos (ESg) e Gleissolos (GXbd). O horizonte superficial mineral A é comum a ambos, podendo ser recoberto por um horizonte O de matéria orgânica. Abaixo do horizonte A e acima do Cr,

alternam-se, lateralmente, sucessão de seqüências verticais de horizontes E/Bh/Bs/Cg dos Espodosolos e Cg dos Gleissolos (Figura 4).

Em superfície, os dados analíticos (granulometria e química) são muito similares. Os horizontes subsuperficiais dos Espodosolos e dos Gleissolos mostram dados granulométricos muito semelhantes, indicando material fonte também similar. Os Espodosolos, por vezes, apresentam diversas camadas de acúmulo de matéria orgânica intercaladas por horizontes de iluviação E (como entre os perfis T3.20 e T3.28).

Os perfis T3.28 e T3.28A, em menos de dois metros, mostram a passagem lateral da sucessão vertical (A/E/2Bh/2E/3Bhs/3Bhs2/3Bsm) do Espodosolo (ESg), à esquerda, para a sucessão (A/Cg/2Cg/2Cg2/2Cg3/3Cr) do Gleissolo (GXbd), à direita (Figura 4a).

O perfil de Espodosolo (T3.28) apresenta horizonte A superficial com 7 cm de espessura, cor preto-brunada (10YR 3/2), textura areia franca e estrutura fraca muito pequena a pequena granular, que passa a um horizonte A/E com 13 cm, pouco mais claro, apesar de ainda escuro, bruno-acinzentado (10YR 4/2), de textura areia franca cascalhenta (40 % de cascalho fino) e sem estrutura (Figura 4a). Segue um horizonte 2Bh com matéria orgânica iluviada e 16 cm de espessura, bruno-escuro (10YR 3/3), de textura areia franca cascalhenta (44 % de cascalho grosso). Abaixo deste, formação de horizonte 2E com 23 cm, bruno-amarelado (10YR 5/3), também cascalhento em matriz arenosa e sobre outra concentração de matéria orgânica e ferro, formando um horizonte 3Bhs com 5 cm de espessura, bruno-vermelho-escuro (5YR 3/3), textura franco-arenosa sobre 3Bhs2 de 10 cm e cor bifásica bruno-vermelho-escuro (5YR 3/4),



A	Horizonte superficial mineral do solo	g	Hidromorfia
E	Horizonte de máxima perda de óxidos e matéria orgânica	o o	Camada de seixos rolados milimétricos
Bh	Horizonte subsuperficial de acúmulo de matéria orgânica	o o	Camada de seixos rolados centimétricos
Bs	Horizonte subsuperficial de acúmulo de ferro	• • •	Fragmentos de ortstein
Bsm	Horizonte subsuperficial de ferro cimentado	Ortstein	Camada endurecida de ferro e matéria orgânica
Cg	Horizonte subsuperficial com caráter hidromórfico	1, 2, 3	Subscrito após as letras, indica seqüência em profundidade
Cr	Horizonte subsuperficial com estrutura de rocha matriz mantida		
2 a 3	à esquerda das letras, indica descontinuidade de material		
←	Avanço da gleização		

Figura 4. Perfis representando a passagem do solo Espodosolo para Gleissolo. (a) passagem abrupta T3.28 para T3.28A; (b) detalhes da transformação T3.35 e T3.35A.

alternando em faixas com bruno-amarelado (10YR 6/8) e um 3Bsm de 3 cm bruno-vermelho-escuro (2,5YR 3/2), rodeado por bruno (7,5YR 5/8) e bruno-avermelhado (5YR 5/8) (endurecidos, ortstein), de textura franco-argilo-arenosa e estrutura maciça. Por fim, encontra-se o horizonte 3Cr com 29 cm de espessura, amarelo-claro (5Y 7/4), apresentando volumes mais claros e escuros de textura franco-arenosa da alteração do gnaiss, mantendo a estrutura bandada da rocha.

O perfil T3.28A, dois metros adiante do T3.28 e desenvolvido sobre o material similar, apresenta horizonte superficial A com 10 cm de espessura, cinzento bruno-amarelado (10YR 4/2), de textura areia franca e estrutura fraca muito pequena a pequena granular, similar ao Espodossolo (podzol). Seguem-se diversos horizontes Cg, que variam pela presença de cascalho de diversos tamanhos e coloração. O Cg, com 20 cm de espessura, é bruno-amarelado (10YR 5/3), apresenta textura franco-arenosa cascalhenta (40 % de cascalho fino) e estrutura maciça. Abaixo, segue horizonte 2Cg com 10 cm, vermelho-amarelado (10YR 6/3), de textura franco-arenosa cascalhenta (43 % de cascalho grosso) e estrutura maciça, sobre horizonte 2Cg2 de 20 cm de espessura, coloração amarelo-acinzentado-escuro (2,5Y 5/2), de textura franco-arenosa cascalhenta como o anterior e estrutura também maciça. A seguir, ocorre o 2Cg3, com 30 cm de espessura, mosqueado amarelo (2,5Y 6/3) com pequenos volumes mais pálidos cinzento-amarelados (2,5Y 7/2) e mais vivos, vermelho-amarelados (5YR 6/6), de textura franco-arenosa e estrutura maciça. Todos assentes sobre o mesmo horizonte 3Cr de alteração do gnaiss descrito no perfil T3.28, porém com algumas variações de cor, mosqueado cinza-claro (10Y 7/1 e 5Y 7/2).

O perfil T3.35 revela as transformações ocorrentes na área, porém com nítida interpenetração de matéria orgânica no material alterado do gnaiss e apresentando caráter plácico (fino pan cimentado), principalmente de ferro (Figura 4b).

O perfil T3.35 mostra horizonte superficial A com 15 cm de espessura, preto-brunado (10YR 3/1), de textura areia franca e estrutura fraca muito pequena a pequena granular. Segue horizonte E com 12 cm, bruno-acinzentado (10YR 4/2), de textura areia cascalhenta (43 % de cascalho fino) e sem estrutura aparente. Abaixo, segue horizonte 2Bh lateralmente contínuo, com espessura de 8 cm, bruno-escuro (10YR 3/3), de textura areia franca e sem estrutura aparente. Logo abaixo, de forma não-contínua, percebem-se resquícios de uma crosta de ferro já na massa do horizonte gleizado 3Cg que apresenta 12 cm de espessura, com cor mosqueado-amarelada (2,5Y 7/3), bruno-amarelada (10YR 5/8) e bruno-escuro (10YR 3/4), de textura franco-arenosa e estrutura maciça. No meio dessa massa gleizada, aparece nova crosta de ferro, horizonte 3Bs com 3 cm

de espessura, de cor mosqueada bruno-avermelhada (2,5YR 5/8), bruno-amarelada (10YR 6/6) e vermelho-amarelada (7,5YR 6/8) de consistência ligeiramente dura, tendendo a macia.

Em forma de bolsa com 30 cm, destaca-se outro horizonte de concentração de matéria orgânica 3Bh, intrincado na massa gleizada do horizonte 3Cg, amarelo-acinzentado (2,5Y 6/2), mosqueado-amarelado (2,5Y 7/6) a bruno-amarelado (10YR 6/8) e bruno-amarelado-escuro (10YR 4/3), de textura franco-arenosa. Aparentemente, é um testemunho do 3Bh acima que está sofrendo transformação pela hidromorfia remontante. Na base desta bolsa, ainda podem ser observados fragmentos de antiga crosta de ferro, que, aparentemente, apresentava 2 a 3 cm de espessura. Todo esse material está assente no horizonte 3Cr de alteração do gnaiss comum a toda a topossequência estudada, aqui ocorrendo de forma irregular, com 58 cm de espessura na base da bolsa e até 1 m nas outras porções do perfil. Está dividido conforme a interpenetração de matéria orgânica, principalmente no lado esquerdo do perfil, e apresenta cor variegada bruno-escuro (10YR 3/3), bruno-amarelada (10YR 6/6) e vermelho-amarelada (5YR 6/3) e textura franco-arenosa e estrutura bandada como da rocha.

Os dados analíticos da passagem Espodossolo/Gleissolo dos perfis T3.28 e T3.28A (Quadro 2) mostram que os teores de argila dos horizontes do Espodossolo são mantidos na passagem para o Gleissolo (100-120 g kg<sup>-1</sup>), exceção ao material fino do 3Bhs e 3Bsm (187 e 179 g kg<sup>-1</sup>) que, lateralmente, passam ao 3E e 3Cg e, posteriormente, a 2Cg2 e 2Cg3 com 145 e 143 g kg<sup>-1</sup>. Essa diminuição do teor de argila é acompanhada pela do ferro total, que no 3Bhs2 é de 88,3 g kg<sup>-1</sup> e chega a 203 g kg<sup>-1</sup> no 3Bsm, passando nos horizontes correspondentes do Gleissolo (2Cg3) a 16,3 g kg<sup>-1</sup>.

Esse fato mostra que o aumento da hidromorfia provoca o rápido desaparecimento dos horizontes ferruginosos, sendo testemunhado por fragmentos de ortstein, em continuidade a esses níveis endurecidos, no interior da massa gleizada (Figura 4). Lateralmente, nos horizontes 3Bhs, 3Bhs<sub>2</sub> e 3Bsm, ocorre também declínio do carbono total em direção à gleização, 3E e 3Cg. Os outros dados mostram-se homogêneos, com pH ácido e muito próximos (pH em H<sub>2</sub>O de 4,2 a 4,6); a soma de bases apresenta-se baixa, com teores inferiores a 1,0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> (valor S de 0,3 a 0,75 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) e capacidade de troca também baixa. Os teores de ferro total podem ser expressivos nos horizontes de acumulação 3Bhs, 3Bhs<sub>2</sub> e 3Bsm, do Espodossolo.

No Gleissolo, encontra-se alguma concentração desse elemento, no horizonte 2Cg3 e 3Cr, em valores e profundidades aproximadas aos do 3Bhs e 3Bsm, indicando certa permanência desse elemento apesar do avanço da hidromorfia, porém os valores são muito homogêneos para ambos (Fe de 1,5 a 7,5 g kg<sup>-1</sup> exceção

**Quadro 1. Resultados analíticos dos perfis da pedotoposequência Espodosolo Ferrocárbico (ESg)/ Gleissolo Háplico (GXbd)**

Solo/perfil	Hor.	Prof.	Análise granulométrica				pH			Complexo sortivo						S	CTC	m	V	Fe
			Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	H <sub>2</sub> O	KCl	C	Ca	Mg	K	Na	Al	H					
		cm	g kg <sup>-1</sup>				g kg <sup>-1</sup>			cmol kg <sup>-1</sup>						%		g kg <sup>-1</sup>		
GXbd T3.0	A1	0-8	91	61	245	603	4,3	3,6	31	0,3	0,2	0,23	0,08	1,5	7,1	0,81	9,41	65	9	2,3
	A2	8-20	108	69	178	645	4,3	3,7	7	0,2	0,2	0,07	0,03	0,6	2,6	0,50	3,70	55	14	3,1
	Cg	20-30	159	107	194	540	4,5	4,1	4	0,2	0,1	0,03	0,02	1,1	3,7	0,35	5,15	76	7	1,2
	crosta	30-33	172	167	218	443	4,5	4,2	3	0,1	0,1	0,02	0,03	1,0	4,3	0,25	5,55	80	5	2,3
	2Cg	33-75	197	213	206	384	4,7	4,3	1	0,1	0,1	0,03	0,04	0,9	2,5	0,27	3,87	77	7	23,0
	2Cr	75-160	178	208	221	393	4,7	4,3	ND	0,1	0,1	0,02	0,05	0,8	2,0	0,27	3,07	75	9	30,0
Sg T3.1	A1	0-10	115	122	229	534	4,3	3,7	19	0,3	0,2	0,13	0,10	1,4	5,6	0,73	7,73	66	9	1,6
	A2	10-23	69	71	180	680	4,1	3,8	18	0,2	0,2	0,06	0,04	0,7	6,5	0,50	7,70	58	6	2,0
	Bs	23-30	171	139	204	486	4,4	4,1	4	0,3	0,2	0,04	0,03	1,0	3,6	0,57	5,17	64	11	79,0
	2E1	30-36	68	64	217	651	4,3	3,9	6	0,2	0,2	0,03	0,02	0,3	2,2	0,45	2,95	40	15	2,7
	2E2	36-50	60	53	209	678	4,4	4,1	1	0,2	0,2	0,03	0,01	0,1	1,5	0,44	2,04	19	22	2,3
	2Bh	50-55	107	114	177	602	4,1	3,7	25	0,2	0,1	0,02	0,02	3,3	9,3	0,34	12,94	91	3	3,8
	3Cg	55-77	181	159	233	427	4,4	4,1	6	0,2	0,2	0,02	0,03	1,6	5,8	0,45	7,87	77	6	2,2
	3Cr	77-120	133	204	228	435	4,4	4,1	4	0,3	0,2	0,04	0,04	1,4	3,0	0,58	4,98	71	12	2,0
Esg T3.20	A	0-25	54	67	177	702	4,4	3,9	10	0,3	0,2	0,04	0,05	0,8	3,5	0,59	4,89	58	12	5,4
	Bh	25-35	131	109	141	619	4,2	3,4	85	0,3	0,2	0,09	0,13	2,5	10,5	0,72	13,72	78	5	1,4
	E	35-65	56	35	184	725	4,5	4,0	2	0,2	0,1	0,02	0,02	ND	1,0	0,34	1,34	0	25	5,3
	2Bh	65-80	107	48	249	596	4,2	3,8	13	0,2	0,2	0,02	0,02	2,0	7,6	0,44	10,04	82	4	1,1
	2Bh2	80-90	99	60	227	614	4,4	4,0	7	0,2	0,1	0,02	0,03	1,3	6,3	0,35	7,95	79	4	5,1
	2Bh3	90-100	87	62	89	762	4,4	3,9	5	0,2	0,2	0,03	0,05	1,4	6,0	0,48	7,88	74	6	1,7
	3Bs	100-135	188	179	386	247	4,6	4,2	2	0,3	0,2	0,03	0,06	1,3	4,7	0,59	6,59	69	9	30,5
	Esg T3.7	A1	0-20	109	60	235	596	4,6	4,0	11	0,6	0,3	0,09	0,09	0,6	3,4	1,08	5,08	36	21
A2	20-58	95	58	179	668	4,8	4,3	8	0,5	0,3	0,03	0,04	0,3	2,7	0,87	3,87	26	22	4,4	
Bhs1	58-80	98	61	208	633	4,4	4,0	8	0,2	0,2	0,03	0,06	0,7	3,5	0,49	4,69	59	10	32,6	
Bhs2	80-83	216	123	169	492	4,5	4,0	11	0,3	0,2	0,04	0,07	1,1	6,7	0,61	8,41	64	7	36,3	
Cr	83-100	183	108	326	383	4,5	4,0	1	0,2	0,2	0,02	0,05	0,9	1,7	0,47	3,07	66	15	2,7	
GXbd T3.8	A1	0-4	109	54	177	660	4,8	4,2	11	0,5	0,3	0,08	0,09	0,4	2,6	0,97	3,97	29	24	5,5
	A2	4-20	110	62	170	658	4,6	4,2	7	0,2	0,2	0,05	0,05	0,5	2,3	0,50	3,30	50	15	7,5
	C1	20-40	115	59	198	628	4,5	4,2	7	0,3	0,2	0,04	0,05	0,4	2,2	0,59	3,19	40	19	1,9
	Cg1	40-60	114	61	181	644	4,7	4,3	3	0,3	0,2	0,03	0,03	0,3	1,7	0,56	2,56	35	22	5,7
	Cg2	60-90	139	79	145	637	4,4	4,1	1	0,2	0,1	0,02	0,04	0,6	1,9	0,36	2,86	63	13	35,4
	Cr	90-100	180	113	279	428	4,6	4,2	ND	0,2	0,1	0,04	0,09	1,1	1,3	0,43	2,83	72	15	8,2
	GXbd T3.13	A1	0-10	159	79	188	574	4,6	4,0	11	0,4	0,3	0,09	0,10	0,7	2,5	0,89	4,09	44	22
Cg1	10-20	162	88	196	554	4,6	4,2	7	0,3	0,3	0,05	0,08	0,4	2,2	0,73	3,33	35	22	2,3	
Cg2	20-40	179	61	190	570	4,4	4,1	6	0,3	0,2	0,05	0,05	0,5	2,5	0,60	3,60	45	17	2,6	
Cg3	40-56	165	91	199	545	4,5	4,1	2	0,2	0,2	0,03	0,04	0,5	1,5	0,47	2,47	52	19	24,4	
Cg4	56-80	175	107	221	497	4,4	4,0	1	0,2	0,2	0,02	0,06	0,7	1,5	0,48	2,68	59	18	25,7	
Cr	80-100	198	130	289	383	4,8	4,2	ND	0,3	0,2	0,03	0,08	0,9	2,1	0,61	3,61	60	17	10,7	
GXbdT3.16	A	0-15	126	66	196	612	4,6	4,1	13	0,4	0,2	0,06	0,06	0,8	3,8	0,72	5,32	53	14	5,5
	C	15-30	141	42	165	652	4,4	4,0	9	0,4	0,2	0,04	0,04	0,7	2,7	0,68	4,08	51	17	19,3
	Cg	30-50	192	45	219	544	4,4	4,1	3	0,3	0,2	0,02	0,03	0,9	2,7	0,55	4,15	62	13	19,5
	Cr	50-80	209	99	247	445	4,4	4,0	1	0,2	0,1	0,03	0,09	1,5	2,5	0,42	4,42	78	10	2,8
	Esg T3.16A	A1	0-10	168	56	169	607	4,5	3,8	16	0,2	0,2	0,12	0,21	1,3	4,7	0,73	6,73	64	11
Bs	10-20	197	49	165	589	4,5	3,9	10	0,2	0,2	0,07	0,10	1,5	3,9	0,57	5,97	72	10	31,5	
E	20-50	166	29	172	633	4,4	3,9	9	0,3	0,2	0,05	0,06	0,7	3,0	0,61	4,31	53	14	7,7	
Eg	50-65	138	53	205	604	4,3	4,0	6	0,4	0,2	0,03	0,02	0,8	2,9	0,65	4,35	55	15	5,7	
2Bs	65-75	169	204	229	398	4,3	3,9	2	0,3	0,2	0,03	0,09	1,8	3,0	0,62	5,42	74	11	30,8	
2Cr	75-100	163	213	257	367	4,4	4,0	2	0,4	0,2	0,02	0,08	1,6	2,3	0,70	4,60	70	15	28,5	
Esg T3.17	A1	0-15	71	97	178	654	4,5	3,9	11	0,3	0,2	0,05	0,08	0,4	2,0	0,63	3,03	39	21	3,6
	Bhs	15-30	79	87	143	691	4,4	3,9	18	0,4	0,2	0,04	0,09	0,6	2,9	0,73	4,23	45	17	26,0
	E	30-50	74	66	158	702	4,4	4,0	5	0,3	0,2	0,03	0,05	0,3	1,3	0,58	2,18	34	27	6,4
	Bh	50-60	86	118	133	663	4,5	4,0	11	0,2	0,1	0,05	0,09	1,0	4,6	0,44	6,04	69	7	4,5
	2Bs	60-70	185	196	187	432	4,4	4,0	7	0,2	0,1	0,02	0,07	1,7	5,7	0,39	7,79	81	5	4,1
	2Cr	70-100	180	243	192	385	4,3	3,9	1	0,2	0,1	0,02	0,12	1,8	3,6	0,44	5,84	80	8	1,7
Esg T3.35	A	0-15	121	63	255	561	4,1	3,6	38	0,2	0,2	0,09	0,14	1,1	7,7	0,63	9,43	64	7	4,8
	E	15-27	84	39	290	587	4,3	3,8	6	0,2	0,2	0,03	0,05	0,2	1,8	0,48	2,48	29	19	2,7
	2Bh	27-35	143	55	274	528	4,1	3,7	25	0,2	0,2	0,02	0,02	2,4	8,2	0,44	11,04	85	4	4,8
	3Cg	35-47	151	83	249	517	4,2	3,9	4	0,2	0,1	0,03	0,02	1,6	4,2	0,35	6,15	82	6	7,3
	3Bs	47-50	179	92	185	545	4,2	3,9	6	0,2	0,1	0,02	0,04	1,3	5,9	0,36	7,56	78	5	29,0
	3Bh	50-82	196	114	283	407	4,2	3,9	5	0,2	0,1	0,02	0,06	1,5	6,1	0,38	7,98	80	5	16,7

Perfil = número do perfil amostrado; C = carbono orgânico; S = soma de bases; m = saturação por alumínio; V = saturação por bases; Fe = ferro total. Continua; ND = não determinado.

**Quadro 2. Resultados analíticos do detalhe da passagem Espodosolo Ferrocárbico (ESg)/Gleissolo Háplico (GXbd) perfis T3.28 e T3.28<sup>A</sup>**

Solo/ perfil	Hor.	Prof.	Análise granulométrica				pH		Complexo sortivo								S	CTC	m	V	Fe
			Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	H <sub>2</sub> O	KCl	C	Ca	Mg	K	Na	Al	H						
		cm	g kg <sup>-1</sup>				g kg <sup>-1</sup>		cmolc kg <sup>-1</sup>								%		g kg <sup>-1</sup>		
Esg T3.28	A1	0-7	104	79	179	638	4,4	3,7	16	0,3	0,2	0,13	0,12	0,9	4,5	0,75	6,15	54,5	12,2	5,1	
	A/E	7-20	112	101	198	589	4,4	3,9	13	0,2	0,2	0,08	0,06	1,1	4,3	0,54	5,94	67,1	9,1	2,1	
	2Bh	20-36	110	83	216	591	4,3	3,9	15	0,2	0,1	0,06	0,05	0,8	3,8	0,41	5,01	66,1	8,18	5,0	
	2E	36-59	83	45	145	727	4,5	3,9	3	0,2	0,1	0,03	0,02	0,3	1,5	0,35	2,15	46,1	16,3	3,4	
	3Bhs	59-64	126	174	297	403	4,2	3,6	40	0,3	0,2	0,03	0,05	4,0	9,2	0,58	13,78	87,3	4,21	5,5	
	3Bhs2	64-74	187	212	283	318	4,4	4,0	24	0,2	0,1	0,03	0,05	2,1	8,9	0,38	11,38	84,7	3,34	88,3	
	3Bsm	74-77	179	198	158	465	4,6	4,2	19	0,2	0,1	0,04	0,08	0,7	7,9	0,42	9,02	62,5	4,66	203,0	
	3Cr	77-106	124	143	346	387	4,3	4,0	1	0,1	0,1	0,04	0,03	0,9	2,7	0,27	3,87	76,9	6,98	3,4	
GXbd T3.28 <sup>A</sup>	A1	0-10	115	90	187	608	4,3	3,6	16	0,2	0,2	0,09	0,12	1,2	4,8	0,61	6,61	66,3	9,23	3,2	
	Cg	10-30	121	118	238	523	4,5	3,9	5	0,2	0,1	0,04	0,05	0,7	2,3	0,39	3,39	64,2	11,5	7,5	
	2Cg	30-40	118	114	206	562	4,3	3,9	6	0,2	0,1	0,03	0,02	0,6	2,1	0,35	3,05	63,2	11,5	1,5	
	2Cg2	40-60	145	103	211	541	4,4	3,9	10	0,1	0,1	0,04	0,06	0,7	2,9	0,30	3,90	70,0	7,69	1,6	
	2Cg3	60-90	143	96	223	538	4,3	3,9	4	0,2	0,1	0,05	0,02	0,5	1,9	0,37	2,77	57,5	13,36	16,3	
	3Cr	90-100	129	179	257	435	4,4	4,0	1	0,2	0,1	0,03	0,02	0,7	1,7	0,35	2,75	66,7	12,73	21,6	

Perfil = número do perfil amostrado; C = carbono orgânico; S = soma de bases; m = saturação por alumínio; V = saturação por bases; Fe = ferro total; ND = não determinado.

aos supracitados); o Al trocável é elevado e aumenta nos horizontes organominerais do Espodosolo, com óbvio aumento da saturação. Portanto, o pH baixo mais meio redutor (solos ácidos) com forte atuação do alumínio livre favorecem a mobilização e migração do ferro, que apresenta teores totais baixos, inclusive com a verificação em campo e nos dados analíticos dessa migração e concentração.

A morfologia da seqüência (Figura 4a) mostra a invasão da hidromorfia sobre os horizontes do Espodosolo (mosqueado crescente nessa direção, até gleização integral), que se processa desigualmente, na base (2Cg<sub>2</sub> sobre 2Bh/2E) e por línguas (3Cg sobre 3Bhs/3Bhs<sub>2</sub>/3Bsm), desagregando a crosta de ferro e de matéria orgânica e reduzindo-as, notado nos volumes brancos, acinzentados e amarelados interpenetrando e desagregando os volumes vermelhos (ferro) e pretos (matéria orgânica) através de fissuras ou zonas de contato, por baixo e por cima das crostas, como observado nos perfis T3.28 e T3.28A. Essa hidromorfia vem destruindo a camada de ortstein pelas linhas de penetração de água, sendo as camadas ferruginosas pouco mais resistentes à desagregação do que as de matéria orgânica, testemunhado por fragmentos de ortstein, em continuidade a esses níveis endurecidos, no interior da massa gleizada. Neste caso, a matéria orgânica ácida em abundância auxilia a mobilização do ferro. Essa gleização é pronunciada próximo aos canais de drenagem (D), sobretudo à direita (Figura 3). Nos Bh, ocorre também declínio do carbono total em direção à gleização.

Da mesma forma, pode-se claramente observar esta interpenetração da hidromorfia nos horizontes do Espodosolo pelo exame dos perfis T3.35 e T3.35A,

onde, de forma abrupta, percebe-se a passagem dos horizontes E e 2Bh para Cg e 2Cg (Figura 4b). Nota-se também que o avanço da hidromorfia do horizonte 3Cg sobre o 3Bh e sobre as camadas de ortstein (3Bs) deixa resquícios, isolando fragmentos de 3Bs e deixando, de forma residual, como testemunha, uma bolsa de 3Bh envolta pelo 3Cg. Isso vem mostrar claramente o encaminhamento das transformações. As marcas verticais de penetração de matéria orgânica no 3Cr mostram para onde vai a matéria orgânica deslocada em cima (Figura 4b).

Assim, o Espodosolo subsiste nas porções melhor drenadas, devendo ter-se formado em condição climática mais seca, distinta da atual, pois não ocorre em outras posições da vertente e topo, ou seja, necessitaria da oscilação de lençol e oxigenação para a precipitação e acumulação do ferro e matéria orgânica, portanto um paleo-pedoclima. Quando a condição de umidade aumentou, tornou-se possível a formação do Gleissolo, bem como a destruição do Espodosolo (situação atual).

Além disso, várias camadas de acumulação de ferro e matéria orgânica mostram antigos e diferentes níveis de lençol da superfície para baixo, que estão sendo destruídas conforme a migração da matéria orgânica ácida, como no Perfil T3.20 (Espodosolo). Assim, definiu-se que a evolução do Gleissolo é dependente da drenagem, enquanto a do Espodosolo depende também da disponibilidade de matéria orgânica, porosidade e sua diferenciação para migração e acúmulo (novamente, condições de umidade distintas das atuais). É preciso assinalar que esses solos desenvolvem-se indiferentemente às variações e naturezas litológicas dos materiais (areias, seixos de diversos tamanhos e gnaisses alterados).

Tais indícios mostram o solo em meio ácido com os vários horizontes Bh, Bhs e Bsm (Figura 4a,b) de dissociação do ferro, que anteriormente estaria ligado às argilas ou aos minerais primários, e que migraram com matéria orgânica e se acumularam nesses horizontes subsuperficiais. Essa acumulação se dá por meio da oxidação do ferro, em virtude da oscilação do lençol freático. Por outro lado, a ação biológica que age na compartimentação da matéria orgânica ocorre em meio não saturado, o que implicaria oxigenação do perfil de solo (relação textural ou estação mais seca que atual). Atualmente, essa umidade é constante, não propiciando tais condições.

Dessa forma, pode-se dizer que, nesse compartimento do planalto, os solos formaram-se em períodos que apresentavam condições climáticas distintas das que ocorrem hoje, provavelmente com menor disponibilidade de água ou ainda com estações marcadas ou mais bem definidas. Nas condições atuais, esse excesso de água acentua os processos morfogenéticos e pedogênicos e o desequilíbrio entre o perfil hídrico e o pedológico, tendendo à destruição das argilas e lixiviação dos elementos.

## CONCLUSÕES

1. As observações de campo e os dados indicaram que a vegetação atual, floresta densa, favoreceu o fornecimento de matéria orgânica ácida, que tem influência na evolução dos solos. Por outro lado, o clima atual, úmido sem estação seca, foi responsável pela pouca sincronia entre os perfis de Espodosolos e os perfis hídricos. Há um excedente hídrico, inclusive acentuado próximo aos canais naturais de drenagem, a partir dos quais se desenvolveram os Gleissolos: estes avançam lateralmente sobre aqueles, provocando a remobilização do ferro acumulado nos horizontes dos Espodosolos, junto com a matéria orgânica. O meio ácido (matéria orgânica) e a umidade elevada foram responsáveis por essa remobilização, e o meio poroso (heterometria do material) facilitou a remoção do ferro.

2. Na associação de solos estudada, a justaposição de Espodosolos e Gleissolos mostrou uma invasão destes sobre aqueles. Assim, os Espodosolos representam uma evolução anterior, que hoje em dia subsiste nas porções mais drenadas, ao passo que os Gleissolos representam a evolução contemporânea. Os primeiros desenvolveram-se sob clima anterior com estação seca mais marcada e, com o aumento da umidade climática holocênica, entraram em desequilíbrio hídrico, sendo invadidos pela gleização.

3. Dessa maneira, esses solos evidenciaram situações ambientais diversas, os Espodosolos sendo

testemunhas de situações paleoclimáticas e paleopedogenéticas diferentes das atuais.

## LITERATURA CITADA

- BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F.X. & LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie: I-Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des sols. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., 4:309-321, 1982a.
- BOULET, R.; HUMBEL, F.X. & LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie: II-Une méthode d'analyse prenant en compte l'organisation tridimensionnelle des couvertures pédologiques. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., 4:323-339, 1982b.
- BOULET, R.; HUMBEL, F.X. & LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie: III-Passage de la phase analytique à une cartographie générale synthétique. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., 4:341-359, 1982c.
- BOULET, R. Análise estrutural da cobertura pedológica e a experimentação agrônoma. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 21., Campinas, 1987. Resumos. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988. p.431-446.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106)
- CAMARGO, M.N.; KLANT, E. & KAUFFMAN, J.H. Classificação de solos usada em levantamentos no Brasil. B. Inf. SBCS, 12:11-33, 1987.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Revisão técnica de levantamento de solos. Rio de Janeiro. 1979. 83p. (Série Miscelânea, 1)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, Produção de Informação; Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3 ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 1996. 83p.
- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T. & CAMARGO, M.N. Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal, Fundação de Estudos e Pesquisas em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia, 1992. 201p.
- ROSSI, M. Fatores formadores da paisagem litorânea: a bacia do Guaratuba, SP - Brasil. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1999. 162p. (Tese de Doutorado)

