

BRAGANTIA

Revista Científica do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo

Vol. 32

Campinas, novembro de 1973

N.º 17

SEQUÊNCIA DE EVOLUÇÃO DE SOLOS DERIVADOS DO ARENITO BAURU E DE ROCHAS BÁSICAS DA REGIÃO NOROESTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (1)

A. C. MONIZ e ADILSON CARVALHO (2), *Seção de Pedologia, Instituto Agronômico*

SINOPSE

Foram estudados 24 perfis de solos derivados do arenito e quatro de rochas básicas, tendo-se realizado análise mineralógica quantitativa da fração argila em amostras representativas dos horizontes B e C. Efetuou-se ainda análise granulométrica, do horizonte B, de solos derivados do arenito Bauru. Os perfis estudados fazem parte do levantamento detalhado, em nível de série, dos municípios de Sud Mennucci, Itapura, Rubinéia, Maringápolis e Andradina, situados na região noroeste do Estado de São Paulo.

Encontrou-se grande variação no teor de caulinita nos solos derivados do arenito Bauru, de 25% a 90%, acompanhada de um decréscimo no teor de mica, num intervalo menor, de 25% a 1%, respectivamente no Latossolo fase substrato arcuito-calcário e no Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa.

Tomando como base a composição mineralógica dos perfis típicos de cada uma das unidades taxonômicas, verificou-se ser possível separar cada um desses grupamentos pelo teor de caulinita da fração argila do horizonte B, tendo-se encontrado o intervalo de 30-70% para o Podzolizado variação Marília; 70-80% para o Podzolizado variação Lins; e 80-90% para o Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa. A gibbsita não foi encontrada em nenhum dos perfis estudados.

O estudo granulométrico evidenciou uma variação considerável na composição dos solos, principalmente entre os perfis de latossolo. As curvas granulométricas padrão, obtidas para as unidades taxonômicas, mostraram, à exceção de alguns perfis de latossolo, uma boa concordância com a curva do arenito Bauru, indicando que o material de origem desses solos ter-se-ia formado provavelmente a partir daquele arenito, através de processos coluvionares e/ou pedimentação. Os perfis de latossolo discordantes estariam provavelmente ligados a depósitos do tipo terraços fluviais.

(1) Trabalho apresentado ao XII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, realizado em Curitiba, PR, de 14 a 26 de julho de 1969. Os autores agradecem ao Dr. Elliot W. Kitajima e ao Dr. Irineu J. B. Camargo as microfotografias eletrônicas, que permitiram o estudo morfológico dos argilo-minerais. Recebido para publicação em 18 de agosto de 1973.

(2) Com bolsas de suplementação do CNPq.

Foi estabelecida, tentativamente, uma relação entre os solos derivados do arenito Bauru e os elementos da catena de Milne, como foram denominados por Ruhe. Verificou-se que os solos do grupamento Marília estariam relacionados à região correspondente às terras altas, onde ocorre o arenito Bauru sem recobrimento; os do grupamento Lins ao pedimento de encosta, sobre recobrimento do tipo coluvial; e os do grupamento latossolo ao pedimento de sopé, sobre material pedimentar.

O Litossolo fase substrato basaltito apresentou a caulinita como principal componente, com 43% no horizonte B. Nos solos mais desenvolvidos, como a Terra Roxa Estruturada, houve enriquecimento daquele mineral, com valores entre 72% a 74%, no horizonte B, não tendo sido detectada gibbsita.

1 — INTRODUÇÃO

Na região noroeste do Estado de São Paulo ocorrem predominantemente solos derivados do arenito Bauru e, em menor escala, junto à calha dos principais rios, solos derivados de rochas básicas.

A relação de solo com os elementos da paisagem foi descrita por Ruhe (13), que mostrou que no entalhamento de uma superfície mais antiga por uma mais nova os materiais das partes mais elevadas são removidos e depositados nas partes baixas. Após a estabilização dessa superfície nova, um novo ciclo de pedogênese se segue. As características dos solos em cada um dos elementos da paisagem diferem, mas eles são geneticamente relacionados.

Com base nos conceitos de Ruhe (13) procurou-se estudar, através de análises mineralógicas e granulométricas, a relação entre as seqüências de solos e seus materiais de origem. Na região ocorrem dois tipos de seqüência de solos ou catenas: (a) proveniente de materiais do arenito Bauru; (b) semelhante à seqüência anterior associado com solos derivados de rochas básicas, nas partes baixas do relevo.

1.1 — MEIO FÍSICO

Clima — A precipitação pluvial da área é da ordem de 1100 mm a 1200 mm (figura 1), com tipo de distribuição tropical. As maiores precipitações ocorrem de outubro a março, com chuvas mensais superiores a 100 mm, enquanto o período de menor pluviosidade vai de abril a setembro. A área apresenta um excedente hídrico de 0 mm a 100 mm e uma deficiência hídrica de 50 mm a 110 mm, este

último valor calculado segundo o método de balanço hídrico de Thornthwaite e Mather para 125 mm de capacidade de retenção de água no solo (15).

Vegetação — A região foi coberta por uma vegetação de floresta, restando hoje pequenos resquícios da cobertura original. A maioria dos solos está sendo usada para pastagens e secundariamente para culturas.

Geologia — Predomina na região a formação Bauru, de idade cretáceo superior. Arid (3) a descreveu como constituída predominantemente de arenitos feldspáticos, subarcózios, de granulação fina a muito fina bem selecionados. Na sua composição mineralógica predomina o quartzo, aparecendo ainda minerais de argila, mica, feldspato, granada, turmalina, diopsídio e zircão. A formação apresenta subordinadamente conglomerados de seixos de argilito, além de siltitos e argilitos. Na região estudada ocorre somente a fácies arenito, razão pela qual, ao longo deste trabalho, será usada a nomenclatura arenito Bauru.

Parte da formação Bauru está recoberta por materiais detríticos provenientes do retrabalhamento do próprio Bauru, provavelmente de origem coluvial e/ou pedimentar. O material pedimentar parece ser semelhante aos sedimentos neocenozóicos descritos por Bjornberg e Landin (4) e Carvalho e outros (6).

A formação Bauru assenta-se discordantemente sobre derrames basálticos, pertencentes ao cretáceo inferior, que normalmente afloram junto às calhas dos grandes rios (figura 1). Ocorrem ainda depósitos aluvionais modernos.

Solos — Provenientes do arenito Bauru e de materiais detríticos de recobrimento, encontrou-se o Podzolizado variação Marília, o Podzolizado variação Lins e o Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa, além do Litossolo fase substrato arenito-calcário e Solos Hidromórficos. Os solos provenientes de rochas básicas incluem o Litossolo fase substrato basaltito e a Terra Roxa Estruturada.

A maioria dos perfis estudados são provenientes dos municípios de Sud Mennucci, Itapura e Andradina. Devido ser pequena a ocorrência de Podzolizado variação Lins naqueles municípios, estudaram-se, também, alguns perfis provenientes dos municípios de Rubinéia e de Marinópolis (3) (figura 1).

2 — MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 — MATERIAIS

Nesse estudo selecionaram-se amostras representativas dos horizontes B e C de 24 perfis de solos derivados do arenito Bauru, sendo um Litossolo substrato arenito-calcário; um Hidromórfico;

(3) Os materiais dos municípios de Rubinéia e Marinópolis foram coletados e fornecidos pelo Eng.º Agr.º Alvaro Zingra do Amaral.

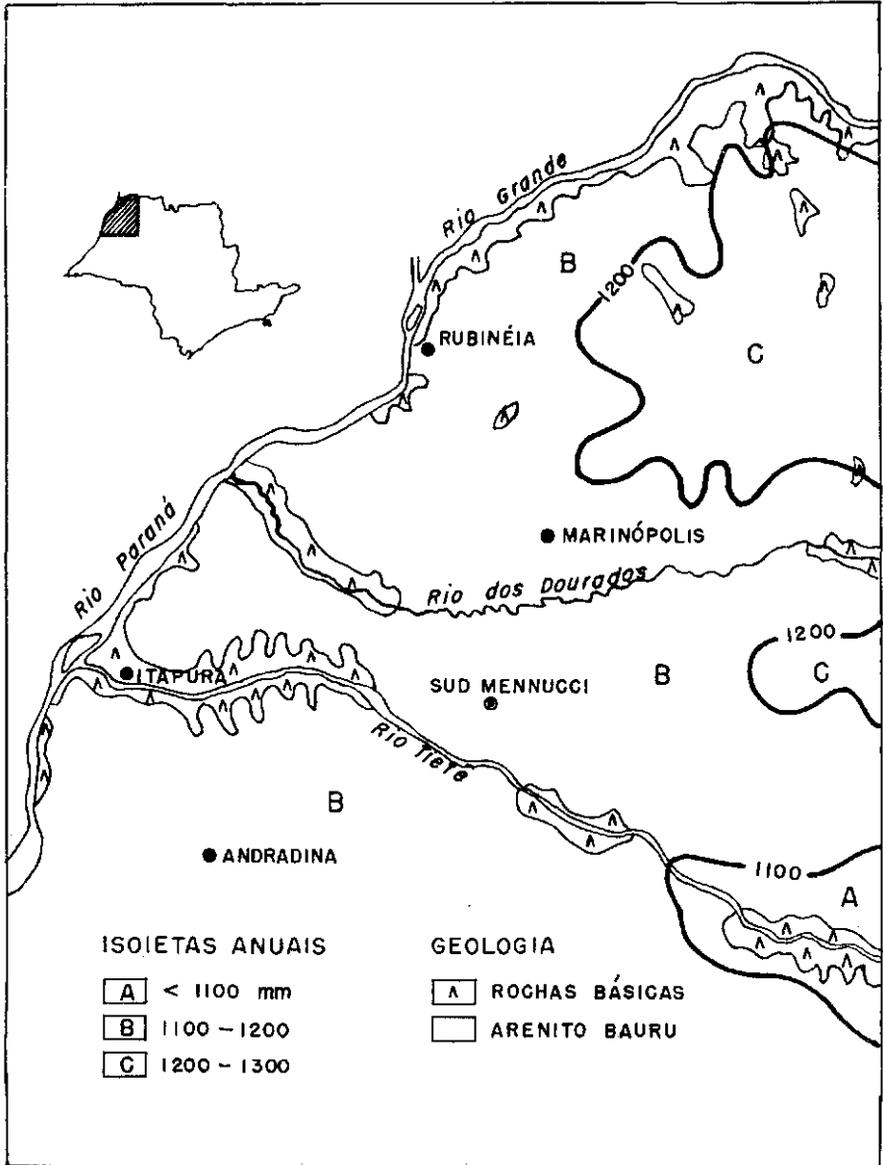


FIGURA 1. — Mapa da área estudada, situada na região noroeste do Estado de São Paulo, estando assinaladas as suas duas principais formações geológicas assim como as isoietas anuais, segundo Camargo (5).

seis Podzolizado variação Marília; seis Podzolizado variação Lins; 10 Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa; e quatro perfis de solos derivados de rochas básicas, sendo um Litossolo fase substrato basaltito e três Terra Roxa Estruturada (quadro 1).

A descrição detalhada dos solos estudados encontra-se nos trabalhos de Verdade e outros (16, 17), devendo-se mencionar que os limites encontrados por esses autores para os valores de soma de bases, capacidade de troca de cátions e saturação em bases estão de acordo, em grande parte, com os valores encontrados pela Comissão de Solos do Serviço Nacional de Pesquisas Agrônomicas (14).

2.2 — MÉTODOS

Análise mineralógica qualitativa da fração argila — As amostras de solos foram tratadas inicialmente com água oxigenada, numa solução-tampão pH 5, para destruição da matéria orgânica, e, em seguida, utilizou-se o método do ditionito-citrato-bicarbonato, de Jackson (9), para remover o ferro livre. Separou-se, após esses pré-tratamentos, a fração argila por decantação, a qual foi colocada em suspensão e armazenada. Todas as análises mineralógicas, qualitativas e quantitativas, foram realizadas nessa argila, isenta de matéria orgânica e de ferro livre.

Utilizaram-se técnicas especiais para diagnosticar os argilo-minerais, tendo-se para isso tomado uma alíquota da fração argila, saturada com potássio e aquecida a 350°C e 550°C; e outra, saturada com magnésio e glicolada. A identificação dos minerais de argila foi feita segundo Jackson (9).

Análise mineralógica quantitativa da fração argila — A caulinita foi determinada por análise térmica diferencial, utilizando-se um método semelhante ao descrito por Dixon (7). A fração argila dos solos foi diluída de 80% em Al_2O_3 , previamente calcinado a 950°C, em vez de asbestos, como foi proposto por Dixon (7). A mistura de argila do solo com Al_2O_3 foi feita cuidadosamente, a fim de obter um produto homogêneo. A curva de calibração foi obtida pelo uso da caulinita da Flórida, E. U. A., saturada com magnésio, tendo-se utilizado a fração argila fina, compreendida

QUADRO 1. — Relação e procedência dos perfis estudados

Unidade litológica	Unidade de mapeamento (14)	Série (16, 17)	Número do perfil	Município de procedência
Arenito Bauru	Litossolo fase substrato arenito calcário	Rancho Grande	971	Andradina
		Capivara	970	Andradina
		Quinze de Novembro	960	Sud Mennucci
		Progresso	967	Andradina
		Planalto	956	Sud Mennucci
		Figueira	959	Sud Mennucci
		Faceira	957	Sud Mennucci
		Bandeirantes	955	Sud Mennucci
		Esmeralda	1001	Rubinéia
		Corredeira	949	Itapura
Podzolizado variação Lins	Podzolizado variação Lins	Campestre	969	Andradina
		Colônia	1000	Rubinéia
		Colônia	999	Rubinéia
		Colônia	1005	Marinópolis
		Colônia		

Rochas básicas								
	Latosolo Vermelho-Escuro fase arenosa	Rancho Fundo Osório Estrela Leopoldina Estrela Entre Rios Mosquito Leopoldina Angico Estrela Pungá					951 963 962 958 954 961 965 964 953 966 952	Itapura Sud Mennucci Sud Mennucci Sud Mennucci Itapura Sud Mennucci Sud Mennucci Sud Mennucci Itapura Andradina Itapura
	Litosolo fase substrato basáltico							
	Terra Roxa Estruturada	Santana Jatobá Itapura					948 968 950 ⁽¹⁾	Itapura Andradina Itapura

⁽¹⁾ Classificado como Terra Roxa Estruturada misturada (16)

entre 0,2 e 0,08 μ . A curva de calibração obtida para a fração argila completa foi bem semelhante à obtida para a fração fina. A porcentagem de caulinita, da amostra do solo, foi calculada da seguinte maneira:

$$\% \text{ Caulinita} = \frac{\text{Caulinita lida na curva de calibração}}{\% \text{ fração argila na mistura com Al}_2\text{O}_3} \times 100$$

A alofana foi determinada pelo método de dissolução seletiva de Hashimoto e Jackson (8); a mica foi determinada pelo conteúdo de K₂O total (2); a vermiculita, pela fixação de potássio trocável após aquecimento na estufa, durante a noite (1).

Análise granulométrica da fração areia — As amostras do horizonte B, as mesmas do quadro 1 dos solos derivados do arenito Bauru, foram dispersas em NaOH a 0,1 N, e as frações menores que 0,053 mm determinadas por pipetagem. A seguir, o material grosseiro foi colocado em uma peneira de abertura 0,053 mm (peneira n.º 270 - USBS) e lavado exaustivamente com água, para eliminar as frações menores que 0,053 mm. O resíduo foi seco, pesado e colocado numa bateria de peneira de números 18, 35, 60, 120 e 270 (USBS), de abertura, respectivamente, 1,000, 0,500, 0,250, 0,125 e 0,053 mm, e agitado durante 10 minutos em um equipamento Ro-Tap. O material retido nas peneiras foi pesado, determinando-se assim a porcentagem de cada classe granulométrica. A distribuição granulométrica do arenito Bauru utilizada para comparação representa a média de 18 amostras da mesma região estudadas por Arid (3).

A fim de comparar melhor os materiais de origem das diversas unidades taxonômicas com o arenito Bauru, utilizou-se o método de Lohse, descrito por Bjornberg e Landim (4). Esse método baseia-se no fato de a fração clástica dos sedimentos apresentar uma distribuição lognormal, podendo, pois, ser representada por uma reta em papel de probabilidade normal. Para isso, calculou-se para as unidades taxonômicas e para o arenito Bauru a porcentagem média em que ocorria uma determinada classe da fração grosseira, e uma outra, de uma determinada classe da fração fina. Colocaram-se, então os dois pontos em papel de probabilidade normal e fez-se passar por eles uma reta, obtendo-se assim a curva padrão para cada um dos materiais, permitindo melhor comparação.

Microfotografia eletrônica da fração argila — As microfotografias foram obtidas com um aparelho Siemens Elmiskof I, pertencente à Seção de Virologia Fitotécnica, Instituto Agronômico de Campinas, tendo-se utilizado o método de réplica de carbono. Inicialmente foi feita a metalização da amostra com paládio, num ângulo aproximado de 15°, seguida de uma volatilização de carbono a 90°, com a finalidade de formar uma película contínua. A seguir submeteu-se a tratamento com HF concentrado para solubilização completa da argila, obtendo-se assim a réplica pronta para ser examinada ao microscópio eletrônico.

3 — RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 — SOLOS DERIVADOS DO ARENITO BAURU

A determinação mineralógica pela difração dos raios-X (figura 2) revelou que as unidades de solos menos desenvolvidos, como o Litossolo e, em menor escala, o Podzolizado variação Marília, apresentaram teor relativamente grande de mica. A caulinita predominou nas unidades de solos mais desenvolvidos, como o Podzolizado variação Lins e Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa. Esse resultado confirmou a seqüência de alteração Mica → Caulinita, já observada anteriormente na decomposição de rochas alcalinas de Poços de Caldas, MG (11), e na decomposição de ardósia de Brasília, DF (12).

O difratograma do litossolo, o mais rico em mica, do tipo dioctaedral, apresentou o pico de 10 Å associado com uma banda que se estende na direção dos ângulos maiores, até a região de 7,2 Å (figura 2). Essa banda sugere a presença de minerais interstratificados mica-caulinita.

As análises mineralógicas quantitativas mostraram grande variação no teor da caulinita, que passou de 25,3%, no litossolo, até cerca de 90%, no Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa, tomando-se o horizonte B como referência (quadro 2). Ocorre concomitantemente uma variação inversa, em menor escala, no

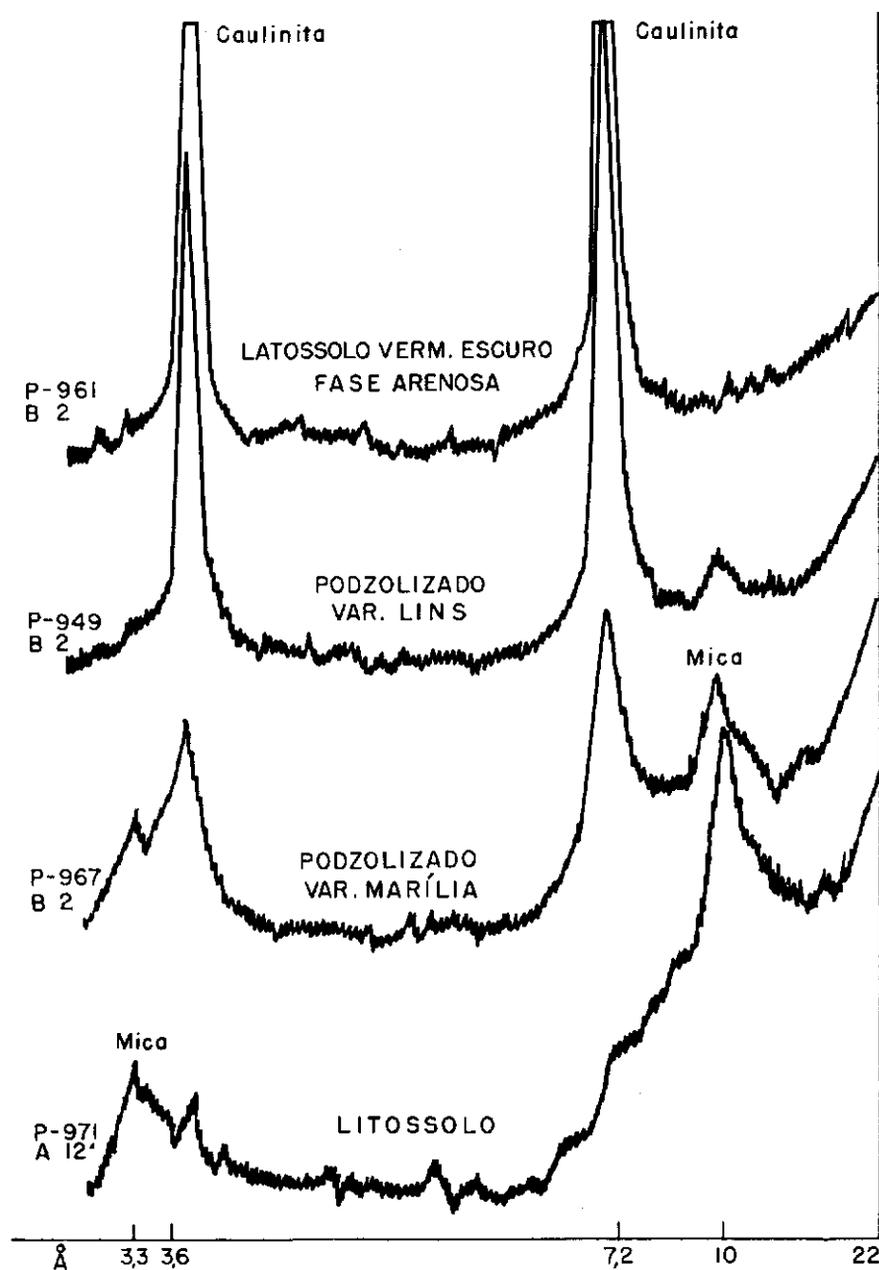


FIGURA 2. — Difratogramas da formação argila, isenta de ferro livre, representativos de cada um dos principais solos derivados do arenito Bauru. Observe-se a diminuição do teor de mica e conseqüente aumento de caulinita, no sentido litossoilo → latossoilo.

teor de mica, a qual decresce de 22%, no litossolo, para cerca de 1%, no Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa. Observou-se que a maioria dos solos classificados como Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa apresentou teores de caulinita com valores que variavam de muito próximo de 80% até cerca de 90%, enquanto o Podzolizado variação Marília apresentou variação mais ampla, desde 38,6%, na Série Quinze, até cerca de 80%, na série Bandeirantes. Com a finalidade de definir melhor a composição mineralógica do Podzolizado variação Lins foram estudados os perfis de números 999, 1000, 1001 e 1005, provenientes dos municípios de Rubinéia e Marinópolis, já que nos municípios de Itapura, Sud Mennucci e Andradina a ocorrência dessa unidade era bem restrita. Verificou-se que a grande maioria dos perfis, em número de seis, apresentou valores de caulinita entre 70% e 80% (quadro 2). Com base nesses dados, propõem-se os seguintes limites para os teores de caulinita, nos solos de área estudada:

UNIDADE TAXONÔMICA	Caulinita, em %
Podzolizado variação Marília	30 a 70
Podzolizado variação Lins	70 a 80
Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa	80 a 90

Como se pode observar (quadro 2), apesar de os valores mínimos e máximos do teor de caulinita do Podzolizado variação Lins se confundirem, respectivamente, com os valores máximos do Podzolizado variação Marília e com os mínimos do Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa, existe uma faixa de composição que pode, com segurança, ser atribuída a cada uma dessas unidades. A maior discrepância encontrada foi a série Bandeirantes, classificada como Podzolizado variação Marília, mas apresentando teor de caulinita (83,4%) que melhor se ajustaria aos valores do Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa. O exame da distribuição da argila, ao longo daquele perfil, sugere a presença de um horizonte B de iluviação, o que corrobora a sua classificação inicial como Podzolizado variação Marília. Salvo essa maior discrepância, os resultados mineralógicos aqui obtidos parecem confirmar a classificação dos solos realizada pela equipe de levantamento (16, 17).

Quadro 2. — Análise mineralógica quantitativa da fração argila, dos horizontes B e C de solos, em nível de série, derivados do arenito Bauru da região noroeste do Estado de São Paulo

N.º do perfil	Série	Horizonte	Caulinita %	Alofana %	Mica %	Vermiculita %	Soma %	ki da alofana
LITOSSOLO FASE SUBSTRATO ARENITO CALCÁRIO								
971	Rancho Grande	A12	25,3	24,3	22,0	16,8	88,4	1,1
SOLO HIDROMÓRFICO								
970	Capivara	Bg C3	54,0 60,0	18,0 10,6	7,0 10,7	0,0 16,3	79,0 97,6	2,7 2,3
POZZOLZADOS DE LINS E MAMÃIA VARIAÇÃO MARÍLIA								
960	15 de Novembro	B2 C	38,6 32,7	14,8 10,8	16,3 18,9	17,8 15,6	87,5 78,0	1,8 2,2
967	Progresso	B2 C1	50,0 52,6	14,8 11,2	18,8 15,4	0,0 0,0	83,2 79,2	4,1 2,2
956	Planalto	B2 C5	62,6 76,1	10,7 9,6	6,5 6,1	1,9 6,8	81,7 98,6	2,0 2,3
959	Figueira	B2 C5	72,6 80,1	10,9 9,5	4,8 3,2	0,0 2,1	88,3 94,9	2,1 2,0
957	Faceira	B2 C6	74,0 71,0	14,9 12,4	4,9 3,9	10,5 0,0	104,3 87,3	3,1 1,9
955	Bandeirantes	B22 C5	83,4 79,4	10,8 9,4	4,2 4,1	0,0 4,8	98,4 97,7	1,9 1,9

PODZOLIZADOS DE LINS E MARLÍIA VARIAÇÃO LINS

1001	Esmeralda	B22	71,3	8,0	3,9	0,0	83,2	1,8	
949	Corredeira	C4	90,0	12,0	2,2	0,0	104,2	3,1	
969	Campestre	B2	72,0	11,6	1,6	0,0	85,2	2,0	
1000	Colônia	C5	78,7	9,1	4,7	4,4	96,9	2,1	
999	Colônia	C6	72,0	10,9	2,5	0,0	85,4	2,1	
1005	Colônia	B22	84,1	12,4	1,7	0,0	98,2	1,8	
		C3	74,8	12,0	1,4	6,1	94,3	3,0	
		B22	89,0	10,2	1,4	1,9	102,5	2,8	
		C5	81,0	13,2	0,5	0,2	94,9	2,7	
		B21	86,0	11,4	2,8	0,0	100,2	2,7	
		B22	82,0	11,6	3,5	0,0	97,1	2,7	
		C4	90,0	11,0	3,0	0,0	104,0	3,1	
LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO FASE ARENOSA									
951	Rancho Fundo	B2	76,0	11,7	1,0	0,0	88,7	2,8	
963	Osório	C7	77,0	15,1	1,0	0,0	93,1	3,3	
962	Estrala	B2	78,0	15,3	1,8	0,0	95,1	2,6	
958	Leopoldina	C5	88,7	13,4	1,2	0,0	103,3	1,9	
954	Estrala	B2	82,0	12,4	3,0	0,0	97,4	2,0	
		C5	71,4	13,0	2,4	0,0	86,8	1,9	
		B2	82,0	12,5	1,8	0,0	96,3	1,1	
		C4	77,0	14,2	6,6	6,6	104,4	2,9	
		B2	83,0	12,8	2,7	0,0	98,5	1,6	
		C6	86,1	11,3	1,3	0,0	88,7	1,8	
961	Entre Rios	B2	84,6	13,9	2,3	0,0	88,2	3,2	
965	Mosquito	C6	83,4	11,9	1,3	0,0	91,8	1,9	
		B2	86,0	10,3	1,5	0,0	97,8	1,8	
		C4	82,0	12,9	1,2	0,0	96,1	1,8	
964	Leopoldina	B2	86,3	13,1	2,4	0,0	101,8	2,9	
953	Angico	C4	84,7	12,5	1,2	0,0	98,4	1,9	
		B2	88,8	13,4	1,3	0,0	103,5	1,6	
		C8	84,1	11,2	0,7	0,0	96,0	1,8	
966	Estrala	B2	88,7	10,7	1,3	0,0	100,7	1,8	
		C5	81,5	10,9	1,0	0,0	93,4	1,8	

A variação do conteúdo de caulinita pode ser visualizada com auxílio dos termogramas da figura 3. Pode-se observar o enriquecimento em caulinita, através do aumento da área do seu pico endotérmico a 575°C, no sentido litossolo → latossolo. Observa-se a ausência do pico endotérmico da gibbsita (320°C), o que confirmou o resultado obtido com a difração dos raios X.

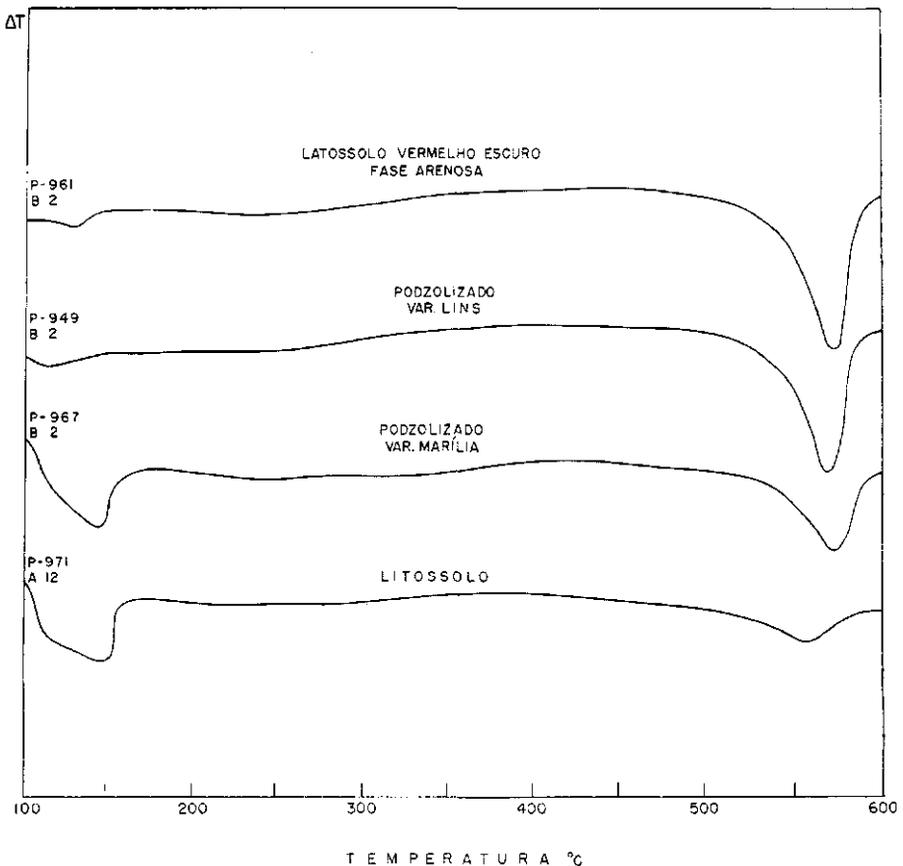


FIGURA 3. — Termogramas da fração argila, isenta de ferro livre, representativos de cada um dos principais solos derivados do arenito Bauru, observando-se um aumento do teor de caulinita, no sentido litossolo → latossolo.

A maior concentração de alofana (24,3%) foi encontrada no litossolo. Nas demais unidades taxonômicas, seu teor não variou de maneira significativa, sendo aproximadamente igual tanto para os solos com B textural como para os solos com B latossólico. Esse resultado não permitiu nenhuma conclusão com relação à ocorrência da alofana, dentro da seqüência de alteração dos minerais.

Calculou-se a relação molecular $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ da alofana de todas as amostras estudadas. O valor mais alto encontrado foi 4,1, para a série Progresso, e o menor, 1,1, para a série Leopoldina. De uma maneira geral pode-se dizer que houve uma tendência de os valores de k_i da alofana estarem em torno de 2,2 (quadro 2).

Realizou-se análise mineralógica quantitativa de um horizonte C, o mais profundo, com a finalidade de verificar possíveis variações na composição mineralógica em profundidade. Os resultados encontrados foram bem variados, ora com aumento, ora com diminuição no teor de caulinita em profundidade (quadro 2). Esses resultados sugerem que o material de origem desses solos seja retrabalhado.

A microfotografia da fração argila do litossolo derivado do arenito Bauru revelou ser a mica constituída de partículas em formato de ripa, a maioria com cerca de $1,5 \mu$ de comprimento (figura 4-A). Poucos cristais hexagonais de caulinita, de dimensões pequenas, também podem ser observados.

Partículas de mica, com formato de ripas, foram encontradas, por Weaver (18), na fração fina de quartzitos e arcózios da parte central da Pensilvânia. Esse autor afirmou que, a partir das evidências disponíveis, é incerto se as ripas resultaram da clivagem de placas de mica, ou se foram formadas pela aglomeração orientada de unidades, com formato de ripas.

A fração argila do Podzolizado variação Marília, série Progresso, é constituída de pequenas partículas irregulares, possivelmente de caulinita, junto com partículas maiores, provavelmente de mica (figura 4-B). Observou-se, nesse mesmo solo, uma grande partícula de mica, na qual se pode observar, ao longo de uma fratura, o empilhamento das camadas estruturais (figura 4-C).

O Podzolizado variação Lins, série Corredeira, apresentou na fração argila partículas hexagonais de caulinita, com dois tamanhos distintos, junto com um pequeno feixe de ripas de mica (figura 5-A).

A fração argila do Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa, série Riacho Fundo, apresentou cristais euédricos de caulinita, com nítido contorno hexagonal (figura 5-B). A série Entre Rios, pertencente a essa mesma unidade, apresentou, contudo, as partículas de caulinita ligeiramente arredondadas (figura 5-C).

Os resultados das análises granulométricas colocaram em evidência uma sensível variação na granulometria, variação essa bastante pronunciada entre os perfis de latossolo, os quais foram divididos, para efeito desse estudo, em latossolo I, compreendendo os perfis 963, 962, 954,, 961 966 e 958, e latossolo II, compreendendo os perfis 965, 964, 951 e 953. Pode-se observar que os perfis do Podzolizado variação Marília, do Podzolizado variação Lins e do latossolo I apresentaram as classes texturais 0,250-0,125 mm e 0,125-0,053 mm como dominantes, enquanto no latossolo II a classe textural 0,500-0,250 foi uma das dominantes (quadro 3). É de notar que esta classe praticamente inexistente no arenito Bauru.

Foram construídas curvas-padrão segundo o método de Lohse, descrito em Bjornberg e Landim (4), com a finalidade de comparar as diferentes unidades taxonômicas (figura 6). Como se pode notar, os perfis do Podzolizado variação Marília, Podzolizado variação Lins e latossolo I são muito semelhantes ao arenito Bauru, com bom grau de selecionamento e constituídos de partículas finas a muito finas. Essas características parecem indicar que esses solos ter-se-iam desenvolvido a partir do próprio arenito Bauru ou, mais provavelmente, de um material derivado dele, através de processos possivelmente coluvionares e/ou pedimentares. Por outro lado, a discordância apresentada pela curva padrão do latossolo II, em relação ao arenito Bauru, parece evidenciar que o seu material de origem teria características um tanto fora das do arenito Bauru, fato este que já fora observado anteriormente na análise do quadro 3. Pode-se notar que se trata de um material mais grosseiro e com grau de selecionamento mais

QUADRO 3. — Análise granulométrica do horizonte B dos solos derivados do arenito Bauru da região nordeste do Estado, e do arenito Bauru

Perfil	Classe granulométrica (em μ)				
	1000-500	500-250	250-125	125-053	053
	%	%	%	%	%
PODZOLIZADOS DE LINS E MARÍLIA VARIAÇÃO MARÍLIA					
959	0,0	8,9	36,4	31,5	23,2
957	0,0	6,7	39,3	34,9	19,1
960	0,0	0,9	29,7	44,6	24,8
956	0,0	3,6	31,8	40,3	24,3
955	0,0	2,9	37,1	37,6	22,4
967	0,0	0,9	21,4	40,9	36,8
PODZOLIZADOS DE LINS E MARÍLIA VARIAÇÃO LINS					
969	0,0	1,8	27,0	53,6	17,6
919	0,5	7,4	28,5	35,5	28,1
999	0,3	8,1	40,2	29,3	22,2
1000	0,0	7,0	42,0	27,7	23,3
1001	0,0	1,9	32,0	42,0	24,1
1005	0,0	4,1	41,9	37,2	16,8
LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO FASE ARENOSA					
963	0,0	8,2	41,8	29,4	20,6
962	0,0	3,5	39,1	40,5	16,9
954	0,7	6,8	32,6	37,8	22,1
961	0,2	7,7	34,7	37,8	19,6
966	0,6	7,9	35,9	35,3	20,3
958	0,0	4,7	41,6	39,4	14,3
965	1,1	32,2	37,6	14,2	14,9
964	0,3	21,7	37,1	25,0	15,9
951	2,3	25,0	28,9	16,4	27,4
953	1,5	15,2	28,8	19,0	35,5
ARENITO BAURU					
	1,8	10,0	44,2	32,4	11,6

(1) Média de 18 amostras estudadas por Arid (3).

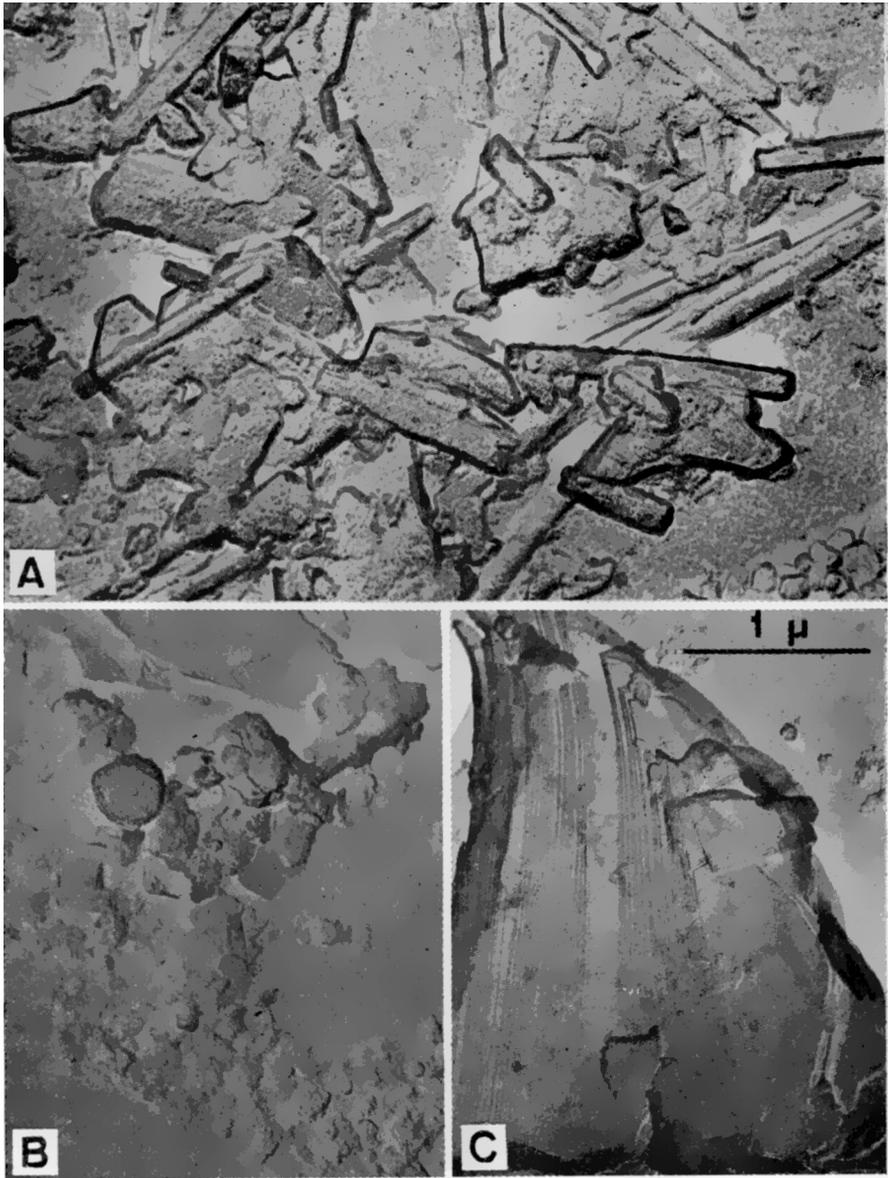


FIGURA 4. — Fotomicrografias eletrônicas, réplica da fração argila, isenta de ferro livre, de solos derivados de arenito Bauru, observando-se: *A* — horizonte A12 do litossolo, série Rancho Grande, com a maioria das partículas de mica em forma de ripas, com cerca de $1,5 \mu$ de comprimento, notando-se, também, a presença de poucos cristais de caulinita; *B* — Podzolizado var. Marília, horizonte B2 da série Progresso, pequenas partículas irregulares, provavelmente de caulinita, junto com poucos cristais pseudo-hexagonais daquele mineral; as partículas maiores são provavelmente de mica; *C* — ainda na mesma unidade de solo, uma grande partícula de mica, notando-se o empilhamento das camadas estruturais.

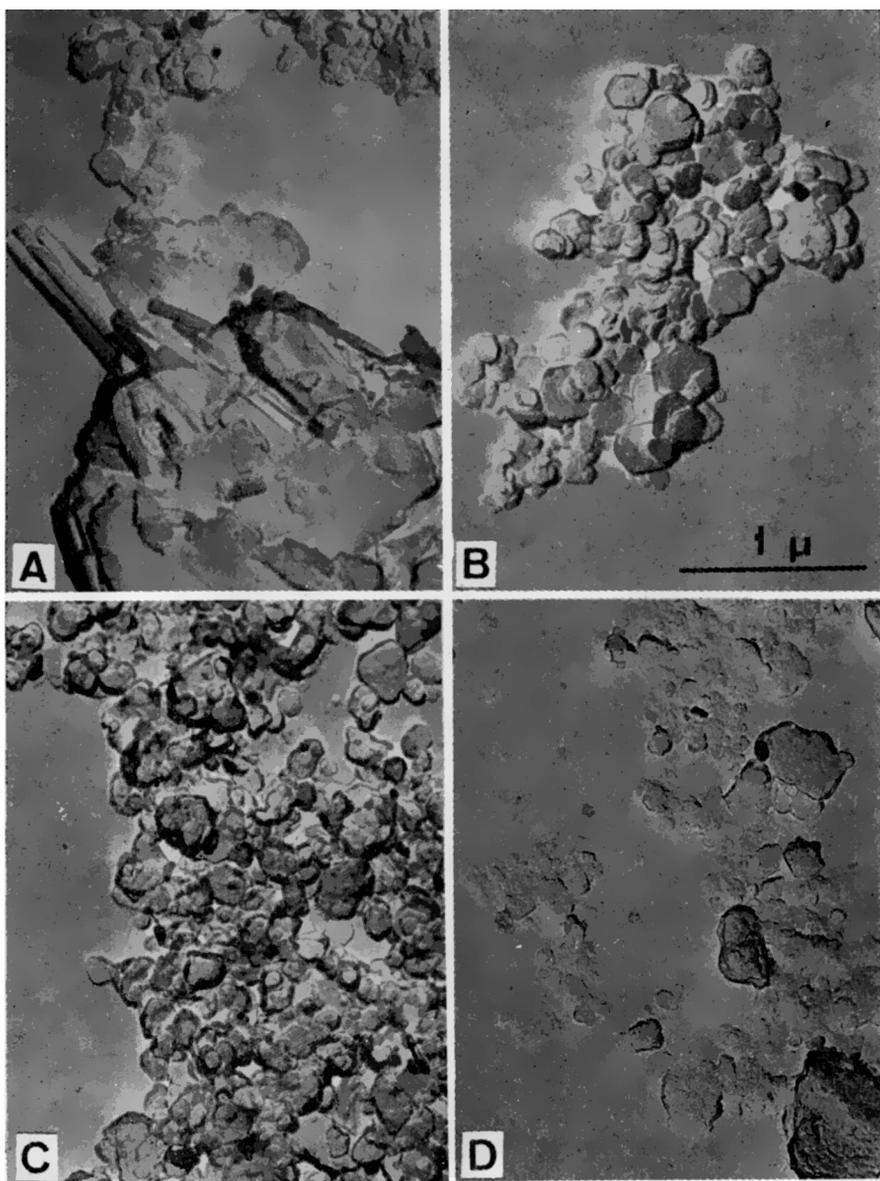


FIGURA 5. — Fotomicrografias eletrônicas, réplica da fração argila, isenta de ferro livre, observando-se: *A* — **Podzolizado var. Lins**, horizonte B2 da série Corredeira, pseudo-hexágonos euédricos da caulinita, junto com ripas de mica; *B* — **Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa**, horizonte B2 da série Rancho Fundo, cristais euédricos de caulinita, com nítido contorno pseudo-hexagonal; *C* — horizonte B2 da série Entre Rios, do mesmo **latossolo**, partículas de caulinita com vértices ligeiramente arredondados; *D* — **Litossolo fase substrato basáltico**, horizonte (B) da série Pungá, partículas irregulares, provavelmente de caulinita, com dimensões bem variadas.

pobre. Isso parece indicar que o material de origem desses solos ter-se-ia formado por processos diversos, sendo, muito possivelmente, um depósito de terraço fluvial.

Deve-se ressaltar, contudo, que apesar dessa discrepância granulométrica, os perfis de latossolo, I e II, apresentam-se praticamente no mesmo estágio de intemperismo, como pode ser evidenciado pelas análises mineralógicas da fração argila (quadro 2).

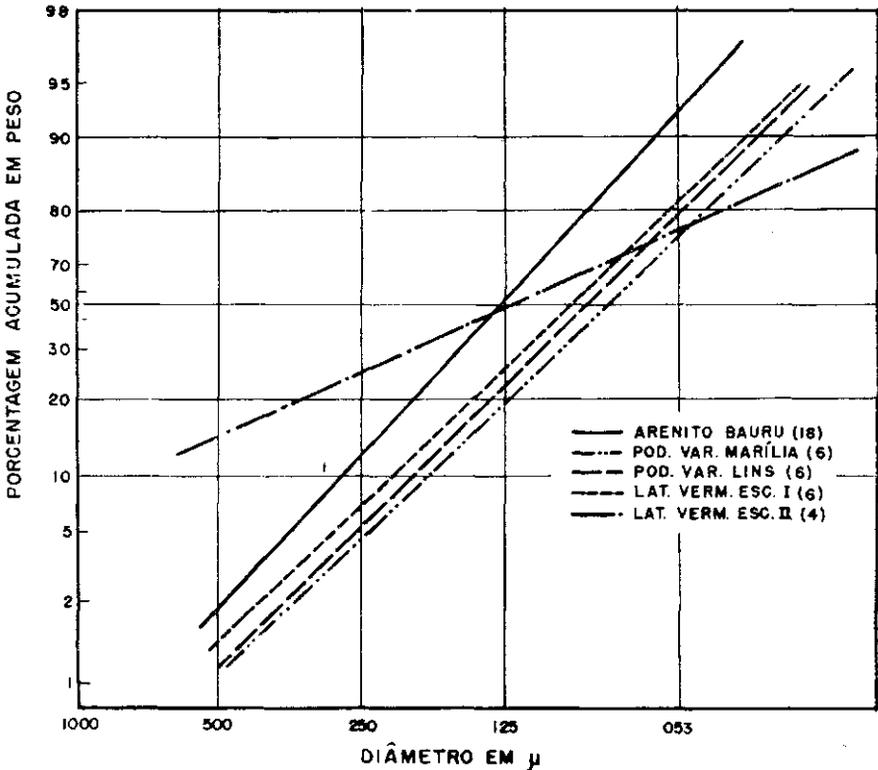


FIGURA 6. — Curvas granulométricas padrões, do arenito Bauru, com base nos dados de Arid (3), e de solos derivados desse arenito, em papel de probabilidade normal. O número entre parênteses indica o número de amostras estudadas.

3.2 — SOLOS DERIVADOS DE ROCHAS BÁSICAS

A principal característica mineralógica dos solos derivados de rochas básicas do município de Itapura é o alto teor em caulinita e ausência de gibbsita, na sua fração argila. Tomando-se o horizonte B, como referência, verificou-se que a Terra Roxa Estruturada tem de 72% a 74% de caulinita, enquanto o Litossolo fase substrato basaltito apresentou teores mais baixos daquele mineral (43%) (quadro 4). Secundariamente encontrou-se alofana e vermiculita. Verificou-se, dessa maneira, que ocorreu maior concentração de caulinita nos solos mais desenvolvidos. Esse resultado é bem semelhante ao encontrado nos solos derivados do arenito Bauru, e descritos no tópico anterior. A ausência de gibbsita nos solos derivados desses dois tipos de material de origem é mais uma evidência em favor da semelhança do grau de evolução mineralógica entre esses dois grupos de solos.

A principal diferença, do ponto de vista mineralógico, entre esses solos e os perfis de Terra Roxa Estruturada de Fatura (P-894), de Avaré (P-893) e de Ribeirão Preto (P-911) é a ausência de gibbsita nos solos de Itapura. Nos solos dos municípios acima mencionados apresentaram-se teores de 2% a 8% de gibbsita (12).

A microfotografia eletrônica das argilas desses solos mostrou que predominaram partículas irregulares, com dimensões bem variadas, como se pode observar na figura 5-D: O formato irregular dessas partículas contrasta nitidamente com as provenientes de solos mais ricos em caulinita, formados a partir do arenito Bauru. Neste último caso, as partículas euédricas da caulinita são facilmente identificáveis.

3.3 — SEQUÊNCIA DE SOLOS NA PAISAGEM

Com base nos resultados obtidos e em observação de campo, tentou-se uma correlação dos solos formados a partir do arenito Bauru com os elementos da catena de Milne (10), e com denominações propostas por Ruhe (13).

A primeira seqüência representa uma situação ideal, e o

Quadro 4. — Análise mineralógica quantitativa da fração argila, dos horizontes B e C de solos, em nível de série, derivados de rochas básicas da região noroeste do Estado de São Paulo

N.º do perfil	Série	Horizonte	Caulinita	Alofana	Mica	Vermiculita	Soma	Ki da alofana
			%	%	%	%	%	
LITOSSOLO FASE SUBSTRATO BASALTICO								
952	Pimã	(B) R	43,2 54,1	16,2 19,4	5,8 8,5	17,9 24,0	83,1 106,0	2,9 2,9
TERRA ROXA ESTRUTURADA								
948	Santana	B21 11C2	72,0 52,0	16,2 15,9	1,3 4,2	9,5 27,7	99,0 99,8	2,4 3,3
968	Jabotá	B2 B2	72,0 71,0	17,2 17,0	1,1 1,3	9,0 0,0	99,3 93,0	2,4 2,6
950	Itapura (1)	C6	86,1	13,0	1,1	0,0	100,2	3,9

(1) Classificada como Terra Roxa Estruturada misturada (16)

intuito foi o de tentar estabelecer uma correlação entre o desenvolvimento desses solos e a história passada da superfície, conforme proposto por Ruhe (13). Dessa maneira, o Podzolizado variação Marília estaria relacionado à região correspondente às terras altas do diagrama de Ruhe, e seria formado sobre o arenito Bauru, praticamente sem recobrimento (figura 7). Essa relação seria corroborado pelo menor grau de intemperismo do Podzolizado variação Marília, cuja relação com as outras unidades taxonômicas é a seguinte:

Podzolizado var. Marília < Podzolizado var. Lins < Latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa.

O podzolizado variação Marília apresentou teores de caulinita, na fração argila, inferiores a 70%.

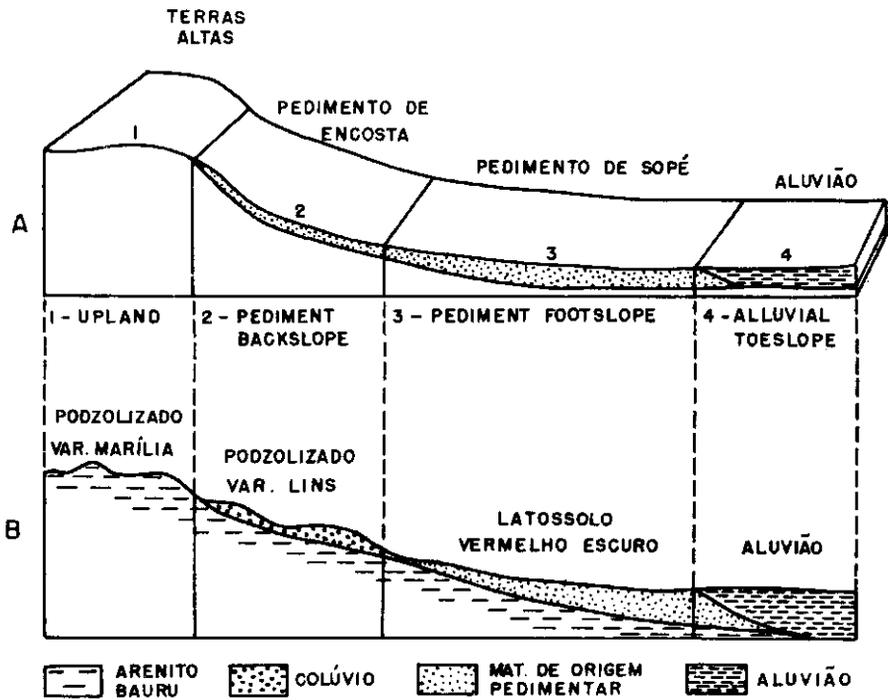


FIGURA 7. — Relação entre os elementos da catena de Milne e os solos formados a partir do arenito Bauru. A — seqüência de Milne, com as denominações propostas por Ruhe (13); B — seqüência proposta, representando uma situação ideal para os solos derivados do referido arenito.

O Podzolizado variação Lins ocuparia posição correspondente ao pedimento de encosta e ter-se-ia desenvolvido a partir de um recobrimento provavelmente do tipo coluvial, portanto um material previamente alterado, o que vem de encontro aos teores intermediários de caulinita (70% a 80%) encontrados na fração argila. Finalmente, o latossolo ocuparia a posição equivalente ao pedimento de sopé, desenvolvidos a partir de um recobrimento relativamente espesso, possivelmente do tipo pedimentar. Esse material, pelo seu processo de deposição, apresentar-se-ia num estágio mais avançado de intemperismo, o que explicaria os teores relativamente elevados de caulinita (80% a 90%) na fração argila.

Convém ressaltar que, no campo, situações diversas daquela apresentada na seqüência ideal podem ser encontradas. Assim, por exemplo, o Podzolizado variação Marília pode ocorrer em posição topográfica inferior ao latossolo, num local onde provavelmente o material pedimentar teria sido erodido, deixando aflorar o arenito Bauru do substrato. Diversas outras distribuições dessas unidades taxonômicas, em relação ao relevo, podem ser encontradas e ter sido resultado, provavelmente, de uma evolução a partir de uma superfície semelhante à da figura 7, por processos de reentalhamento.

A segunda seqüência é semelhante à primeira, até o aparecimento de Terra Roxa Estruturada nas partes baixas da catena, numa posição correspondente ao pedimento de sopé.

Os solos derivados de rochas básicas se desenvolveram também a partir de materiais retrabalhados, provavelmente por processos semelhantes àqueles que agiram sobre o arenito Bauru. O retrabalhamento daqueles materiais pode ser comprovado pela presença, em vários solos, de uma linha de seixos de quartizito e geodos, como observaram Verdade e outros (16). Encontrou-se na série Santana, perfil 948, uma linha de pedra a 24 cm de espessura, numa profundidade de 118 cm. O horizonte B21, acima dessa linha de pedra, apresentou maior concentração de caulinita, em relação ao horizonte C2, localizado abaixo da linha de pedra e provavelmente originário de material autóctone. Esse resultado parece indicar que o material que recobriu a rocha bá-

sica que originou o horizonte C estava numa fase mais avançada de alteração.

Claros indícios de solos provenientes de material retrabalhado foram encontrados inclusive no litossolo, série Pungá (perfil 952), onde se encontraram seixos nas camadas superiores do solo, assim como na série Itapura, perfil 950, esta última denominada Terra Roxa Estruturada misturada (16), devido à contribuição do arenito Bauru.

A ausência de gibbsita, tanto nesses solos como nos provenientes do arenito Bauru, seria um indício de que, apesar desses solos serem em grande parte provenientes de materiais retrabalhados, o processo que os originou não foi suficientemente intenso para levar os materiais do solo a uma fase mais avançada de alteração.

MINERALOGICAL STUDY OF SOILS DERIVED FROM BAURU SANDSTONE AND BASIC ROCKS IN THE NORTH-WESTERN REGION OF SÃO PAULO STATE

SUMMARY

Quantitative mineralogical analysis were carried out in the clay fraction of the B and C horizons of 24 soil profiles developed from the Bauru sandstone, as well as in four profiles derived from basic rocks. Granulometric analysis was also performed in the same B horizons of the soils developed from the Bauru sandstone.

The clay fraction of the soils derived from the Bauru sandstone presented a wide variation in kaolinite content, from 25% to 90%, along with a decrease in mica content, from 25% to 1% for the Lithosol-calcareous sandstone substratum phase and Dark-Red Latosol sandy phase, respectively.

Based on the mineralogical composition of the typic profiles of the taxonomic units, it was possible to characterize each group according to the kaolinite content of the B horizon. The variation of the mineral was between 30% and 70% for the Podzolized Soil Marília variation, between 70% and 80% for the Podzolized Soil Lins variation, and between 80% and 90% for the Dark Red Latosol sandy phase. Gibbsite was not detected in any soil profile.

The granulometric analysis showed considerable variation specially among

the Latosols. The soils, except for four Latosol profiles out of 10, are very similar to the Bauru sandstone, which seems to indicate that their parent materials were developed from the sandstone itself, through a coluvial and/or pedimentation process. The odd profiles of Latosol seem to be related to fluvial terrace deposits.

A relationship between the soils derived from the Bauru sandstone and the landscape elements, defined by Milne and denominated by Ruhe, was established. The Marília variation was related with the upland region, where the sandstone occurs with no significant drift material, while the Lins variation can be related to the pediment backslope, formed on a drift material of coluvial type. Finally, the Latosol is related to the pediment footslope, developed mainly from a pedimental material.

The Lithosol-basaltite substratum phase presented kaolinite as the main component of the soil clay, with 43% in the B horizon. The more developed soils, as Terra Roxa Estruturada, showed a higher kaolinite content, ranging from 72% to 74% in the clay of the B horizon. No gibbsite was detected.

LITERATURA CITADA

1. ALEXIADDES, C. A. & JACKSON, M. L. Quantitative determination of vermiculite in soils. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 29:522-527, 1965.
2. ——— & ———. Quantitative clay mineralogical analysis of soils and sediments. In: *Conf. Clays and Clay Minerals*, 14., 1966. *Proceedings*, p.32-35.
3. ARID, F. M. A formação Bauru na região norte-ocidental do Estado de São Paulo. São José do Rio Preto, *Fac. Fil. Ciênc. Letr.*, 1967. 126p. (Geociências 1)
4. BJORNBERG, A. J. S. & LANDIN, P. M. B. Contribuição ao estudo da formação Rio Claro (Neocenozoica). *Bol. Soc. bras. Geol.* 15(4): 43-67, 1966.
5. CAMARGO, A. P. Aptidão climática para as culturas da soja, girassol e amendoim no Estado de São Paulo. In: *Zoneamento da aptidão ecológica para a cultura de soja, girassol e amendoim do Estado de São Paulo*. Projeto 1. INSTIOLEOS/Secret. Agricultura do Estado de S. Paulo, 1971. p.2-28.
6. CARVALHO, A.; MELFI, A. J.; BITTENCOURT, I.; QUEIROZ NETO, J. P. & NAKASHIMA, P. Sedimentos neo-cenozóicos da área de Campinas, Estado de São Paulo. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, 21., Curitiba, 1967. *Anais*. São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia, 1967. p.58-70.
7. DIXON, J. B. Quantitative analysis of kaolinite and gibbsite in soils by differential thermal and selective dissolution methods. In: *Conf. Clays and Clay Minerals*, 14., 1966. *Proceedings*. p.83-89.
8. HASHIMOTO, I. & JACKSON, M. L. Rapid dissolution of allophane and kaolinite-halloysite after dehydration. In: *Conference on Clays and Clay Minerals*, 7., 1960. *Proceedings*. Oxford, Pergamon Press, 1960 p.102-113.

9. JACKSON, M. L. Soil chemical analysis: advanced course. Madison, Univ. of Wis., Department of Soil Science, 1965. 991p.
10. MILNE, G. Normal erosion as a factor in soil profile development. *Nature* 138:548-549, 1936.
11. MONIZ, A. C. Estudo mineralógico de argilas do maciço alcalino de Poços de Caldas. São Paulo, Fac. Fil. Ciên. Letr. Univ. São Paulo, 1969. 134p. (Bol. 304 — Mineralogia 19)
12. ——— & JACKSON, M. L. Quantitative mineralogical analysis of Brazilian soils developed from basic rocks and slate. Wisconsin, 1967. 74p. (Soil Science Report 212)
13. RUIHE, R. V. Elements of the soil landscape. In International Congress of Soil Sci., 7., Madison, EUA, 1960. Transactions. v.4, p. 165-170.
14. SERVIÇO NACIONAL DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. Comissão de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1960. 634p. (Boletim 12)
15. THORNTON, C. W. & MATHER, J. R. The water balance. Centerton, N. J., Drexel Institute of Technology, Lab. Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. 8, n.º 1)
16. VERDADE, F. C.; AMARAL, A. Z.; GROHMANN, F. & GONÇALVES, E. M. Levantamento de solos por fotointerpretação do Município de Itapura — Estado de São Paulo. (Apresentado no Congresso Brasileiro de Ciência do solo, 11., Brasília, 1967)
17. ——— ; ——— ; RAIJ, B. van & AMARAL, J. P. Levantamento de solos por fotointerpretação do Município de Sud Mennucci — Estado de São Paulo. (Apresentado no Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 11., Brasília, 1967)
18. WEAVER, C. E. A lath-shaped non-expanded dioctahedral 2:1 clay mineral. *Am. Mineralogist* 38:279-289, 1953.