

# BRAGANTIA

Revista Científica do Instituto Agrônomo do Estado de São Paulo

Vol. 32

Campinas, fevereiro de 1973

N.º 3

## GÊNESE E CLASSIFICAÇÃO DE ALGUNS SOLOS DA BACIA DO RIBEIRÃO TIJUCO PRETO, MUNICÍPIO DE RIO DAS PEDRAS, SP. I — ANÁLISE MINERALÓGICA QUANTITATIVA DA FRAÇÃO ARGILA (1)

E. H. ESCOBAR, INTA, E. E. A. Bella Vista, Corrientes, Argentina, J. L. I. DEMATTÊ, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", e A. C. MONIZ (2), Seção de Pedologia, Instituto Agrônomo

### SINOPSE

Foi empregada a análise mineralógica quantitativa no estudo das frações argila fina e argila grossa de quatro perfis de solos. Dois perfis são originados de um siltito da formação Corumbataí, e foram coletados numa mesma encosta. O primeiro deles, um Latossolo fase folhelho-argilito (TP-12), se encontra num estágio de intemperização inferior ao Podzólico Vermelho-Amarelo variação Piracicaba (TP-13), indicado pelo seu menor conteúdo de caulinita (31,5% na fração argila grossa do B2 em relação ao perfil TP-13 (52% no B2t). Esse resultado é confirmado pelo valor do intemperismo médio do TP-12, que é inferior ao do TP-13.

Fazendo parte da mesma topossequência, numa posição mais elevada, encontra-se um Latossolo Vermelho-Escuro orto (TP-17), proveniente de um material de origem não identificado, que contém contribuição de rochas básicas, revelado pelo teor de 14% de  $Fe_2O_3$ . Esse latossolo apresentou como componente principal da fração argila grossa a caulinita (74,5%), seguindo-se a alofana (14,0%), gibbsita (3,7%), mica (2,9%) e vermiculita (0,3%). Esses valores representam a média do perfil.

As partes mais altas da bacia são ocupadas por um Latossolo Roxo, cujo perfil TP-18 apresentou a caulinita como principal componente (70,0%) da fração argila grossa, seguindo-se-lhe a alofana (20,0%), a gibbsita (9,2%), a mica (0,9%) e a vermiculita (0,6%). Tendo tomado o teor de gibbsita, ou o valor do Ki, como índice de intemperismo, verificou-se que esse latossolo é menos intemperizado do que um perfil de Latossolo Roxo de Campinas, situado também na depressão periférica. O mesmo acontece em relação a 10 perfis de Latossolo Roxo do planalto ocidental de São Paulo.

(1) Trabalho apresentado ao XIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, realizado em Vitória, ES, de 12 a 22 de julho de 1971. Os autores agradecem ao Dr. Elliot W. Kitajima as microfotografias eletrônicas, que permitiram o esclarecimento de características morfológicas dos minerais da fração argila. Recebido para publicação em 5 de julho de 1972.

(2) Com bolsa de suplementação do CNPq.

## 1 — INTRODUÇÃO

O reconhecimento dos minerais de argila é um dado valioso para o melhor conhecimento dos processos físico-químicos que ocorrem no solo. A primeira referência sobre pesquisa radio-cristalográfica, de minerais de argila, foi feita por Endell, em 1937 (10). Esse autor descreveu os princípios da difração dos raios X, apresentou algumas estruturas de argilo-minerais e falou da importância técnico-econômica desse estudo mineralógico. Contudo não estudou nenhum material brasileiro. Entre nós, o estudo qualitativo dos argilo-minerais foi iniciado por Paiva Netto, em 1942, que utilizou, para isso, da difração dos raios X (23). A partir dessa data, até 1959 nenhum trabalho dessa natureza foi realizado. Em 1960 foi lançado o trabalho elaborado pela equipe da Comissão de Solos do Serviço Nacional de Pesquisas Agrônomicas (25), com o levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Esse trabalho foi completado com estudos mineralógicos das frações areia e argila.

Foi a partir de 1964 que as análises mineralógicas qualitativa e quantitativa tiveram maior impulso, iniciando-se com o trabalho de Moniz (3), que estudou as alterações hipógenas e supérgenas das rochas do maciço alcalino de Poços de Caldas, formulando diversas hipóteses a respeito da origem dos minerais de argila da região. Seguiram-se os trabalhos de Melfi e outros (17), Melfi (16), Moniz e Jackson (21), Demattê (7), Demattê e Moniz (8), Moniz e Carvalho (20), Mendes (18), Queiroz (24) e Carvalho e Montgomery (6).

O presente trabalho visa, principalmente, um estudo mineralógico quantitativo da fração argila (grossa e fina) de alguns solos que ocorrem na bacia do ribeirão Tijuco Preto, no município de Rio das Pedras, Estado de São Paulo.

---

(3) O trabalho original, uma tese de doutoramento, foi publicado em 1969. V. referência bibliográfica (19).

## 2 — MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 — SOLOS

Utilizaram-se, neste trabalho, quatro perfis de solos da bacia do ribeirão Tijuco Preto, os quais receberam as denominações TP-12, TP-13, TP-1 e TP-18.

O perfil TP-12 é um Litossolo fase folhelho-argilito (Inceptisol), e o perfil TP-13 é, provavelmente, um Podzólico Vermelho-Amarelo variação Piracicaba (Alfisol). São ambos derivados do mesmo material de origem, um siltito da formação Corumbataí, atualmente denominada formação Estrada Nova. O perfil TP-18 é um Latossolo Roxo, derivado de rochas ígneas básicas da formação Serra Geral, enquanto o perfil TP-17 é, possivelmente, um Latossolo Vermelho-Escuro orto, proveniente de um material de origem não identificado, que recebeu contribuição de rochas básicas.

Os solos menos intemperizados, unidades TP-12 e TP-13, localizam-se nas partes baixas da bacia, enquanto os mais intemperizados (TP-17 e TP-18) localizam-se nas partes mais elevadas (figura 1).

A descrição morfológica dos perfis aqui estudados encontra-se no trabalho de Escobar e outros (11).

### 2.2 — ANÁLISE MINERALÓGICA

#### 2.2.1 — REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E DE FERRO LIVRE

As remoções de matéria orgânica e de ferro livre foram realizadas segundo o método descrito por Jackson (13), mediante o emprego de água oxigenada, em solução tampão pH 5, para a remoção da matéria orgânica, e do método do ditionito-citrato-bicarbonato, para a remoção de ferro livre.

No material isento de ferro livre e de matéria orgânica pro-

cedeu-se às operações de separação granulométrica dos constituintes do solo. A argila fina foi separada da argila grossa por centrifugação a 30.000 rpm.

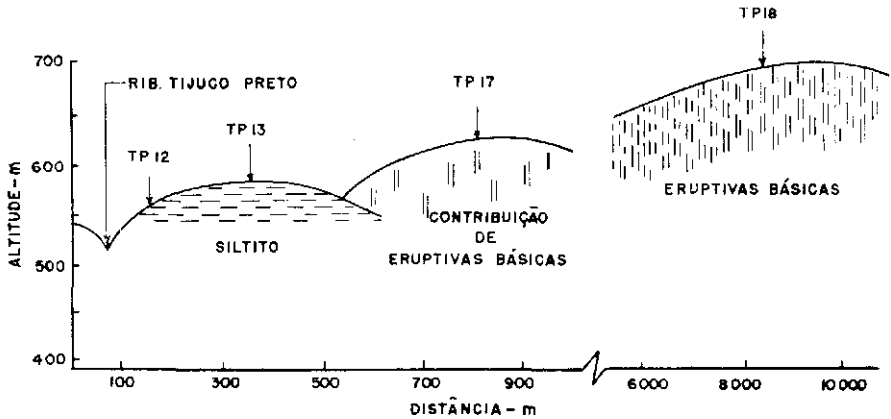


FIGURA 1. — Corte transversal esquemático mostrando disposição das unidades TP-12 (Litosolo fase substrato folhelho-argilito); TP-13 (Podzólico Vermelho-Amarelo variação Piracicaba); TP-17 (Latosolo Vermelho-Escuro orto); e TP-18 (Latosolo Roxo).

#### 2.2.2 — PREPARO E MONTAGEM DE AMOSTRAS ORIENTADAS

Alíquotas de argila grossa e argila fina foram pipetadas em tubos de centrifuga de 100 ml e saturadas com íons  $K^+$ , de acordo com Jackson (13). Após a eliminação do excesso de sais, transferiu-se uma pequena quantidade de argila para uma lâmina de vidro, onde procedeu-se à sua orientação preferencial, com auxílio de uma espátula. Idêntica operação de saturação, agora com íons  $Mg^{2+}$ , e preparação de lâmina com o material orientado preferencialmente foram realizadas em seguida.

As lâminas com material saturado com potássio foram levadas diretamente a aparelho Norelco de raios X e irradiadas no intervalo de 2 a 28° ( $2\theta$ ). Posteriormente foram aquecidas a 350°C e 550°C e irradiadas após cada aquecimento. As lâminas que continham argila saturada com magnésio, adicionou-se etileno glicol, obtendo-se em seguida seus difratogramas.

2.2.3 — RECONHECIMENTO DOS MINERAIS DE ARGILA

Para a caracterização dos diversos grupos de minerais de argila, empregou-se o método da difração dos raios X. O reconhecimento foi feito de acordo com as especificações de Brindley (5), que agrupou os argilo-minerais em três categorias, segundo as dimensões do espaçamento basal: 7, 10 e 14 Å. Cada um desses tipos de espaçamento corresponde a uma ou mais espécies minerais, empregando-se técnicas especiais, para a caracterização de cada grupo, tais como tratamentos térmicos e saturação com glicol. Assim é que os minerais do grupo da caulinita foram reconhecidos pela presença do espaçamento de 7,2 Å, o qual foi eliminado com o aquecimento a 550°C. A mica foi identificada pelo espaçamento de 10 Å, o que não foi alterado com os tratamentos térmicos empregados, e não foi afetada quando saturada com etileno glicol. A presença de montmorilonita foi confirmada pela expansão de sua estrutura cristalina, a qual passou a apresentar espaçamento de 17-18 Å, quando saturada com etileno glicol. Além desses minerais, identificou-se a gibbsita pelo espaçamento de 4,85 Å, que desaparece após aquecimento a 350°C, e o quartzo pela presença dos espaçamentos 3,34 e 4,26 Å.

2.2.4 — ANÁLISE QUANTITATIVA DOS MINERAIS DE ARGILA

A determinação quantitativa da caulinita e da gibbsita encontrada na fração argila (grossa e fina) foi realizada utilizando-se o método de análise térmico-diferencial proposto por Dixon (9) e ligeiramente modificado por Moniz e Jackson (21).

A determinação quantitativa da mica foi baseada no teor de K<sub>2</sub>O (2). Empregou-se o método de Alexiades e Jackson (1) para a determinação do teor de vermiculita, o qual foi baseado na fixação de potássio pelas amostras aquecidas a 110°C, durante a noite. A determinação de montmorilonita foi baseada na capacidade de troca de cátions, medida pelo potássio não fixado e substituído em NH<sub>4</sub>Cl N (1).

A porcentagem de material amorfo (alofana) presente na

fração argila foi determinada pelo método de dissolução seletiva em NaOH a 0,5 N (2) após subtração da porcentagem de  $Al_2O_3$  equivalente à gibbsita, determinada com análise térmico-diferencial. O restante da alumina foi combinado com a sílica, e 20% de água foram adicionados à soma sílica + alumina, para obter a porcentagem de alofana.

#### 2.2.5 — MICROFOTOGRAFIA ELECTRÓNICA

A argila saturada com  $K^+$ , isenta de ferro livre, de matéria orgânica e de cloretos, foi colocada em suspensão bem diluída. Transferiram-se algumas gotas de suspensão, com auxílio de micropipeta, para um suporte especial com abertura de malha de 0,149 mm (100 mesh) ou de 0,074 mm (200 mesh) de diâmetro. Após evaporação da água ajustou-se o suporte, que encerrava o material, no microscópio electrónico Siemens Elmiskop I, da Seção de Virologia Fitotécnica, Instituto Agrônômico. Utilizou-se uma tensão aceleradora de 80 Kv e uma abertura de objetiva de 50 micros, para obter as microfotografias electrónicas (26).

### 3 — RESULTADOS E DISCUSSÃO

A unidade TP-12 apresentou a caulinita como argilo-mineral dominante nas frações argila grossa e argila fina (quadro 1). Na argila grossa o seu teor vai de 25,0% (R) a 32,3% (Ap), e na argila fina passa de 40,5% (R) para 37,0% (Ap). A alofana, ao se alterar, diminui seu teor no solo: vai de 21,1% (R) para 13,0% (Ap), na argila grossa, e de 25,6% (R) para 20,4 (Ap), na argila fina. A vermiculita aumenta o seu teor no solo; assim é que passa de 11,7% (R) para 16,4% (Ap), na argila grossa, e de 10,7% (R) para 14,0% (Ap), na argila fina. A montmorilonita apresentou teores mais altos na fração argila grossa, com valores superiores a 10%. O teor de mica decresceu na argila grossa do solo, de 19,1% (R) para 9,2% (Ap). Na argila fina o seu teor não apresentou variação: manteve-se ao redor de 14%. A mica, quando sujeita à meteorização, se altera, proporcionando o aparecimento de minerais secundários, razão pela qual o seu teor decresce no solo em relação à rocha.

QUADRO 1. — Composição mineralógica das frações argila grossa e argila fina do Litossolo fase folhelho-argilito, perfil TP-12

Mineral	Horizonte		
	Ap	B2	R
	%	%	%
ARGILA GROSSA (2-0,2 $\mu$ )			
Caulinita .....	32,3	31,5	25,0
Gibbsita .....	3,5	0,0	0,0
Mica .....	9,2	11,3	19,1
Vermiculita .....	16,4	19,5	11,7
Montmorilonita .....	17,3	14,5	12,1
Alofana .....	13,0	11,0	21,1
Soma .....	91,7	87,8	89,0
ARGILA FINA (<0,2 $\mu$ )			
Caulinita .....	37,0	40,3	40,5
Gibbsita .....	0,0	0,0	0,0
Mica .....	13,8	14,1	14,2
Vermiculita .....	14,0	12,1	10,7
Montmorilonita .....	8,0	2,0	4,7
Alofana .....	20,4	23,1	25,6
Soma .....	93,2	91,6	95,7

Os difratogramas da fração argila grossa do perfil TP-12 (figura 2-A) revelaram a presença de caulinita, mica, quartzo e montmorilonita. O espaçamento basal da montmorilonita está parcialmente contraído (12 Å).

Foram identificados nos difratogramas da fração argila fina (horizonte Ap) do mesmo perfil, os minerais caulinita, mica e montmorilonita (figura 2-B). Este último mineral foi caracterizado pela expansão de seu espaçamento basal, quando saturado com etileno glicol, e pela sua contração após aquecimento a 350°C.

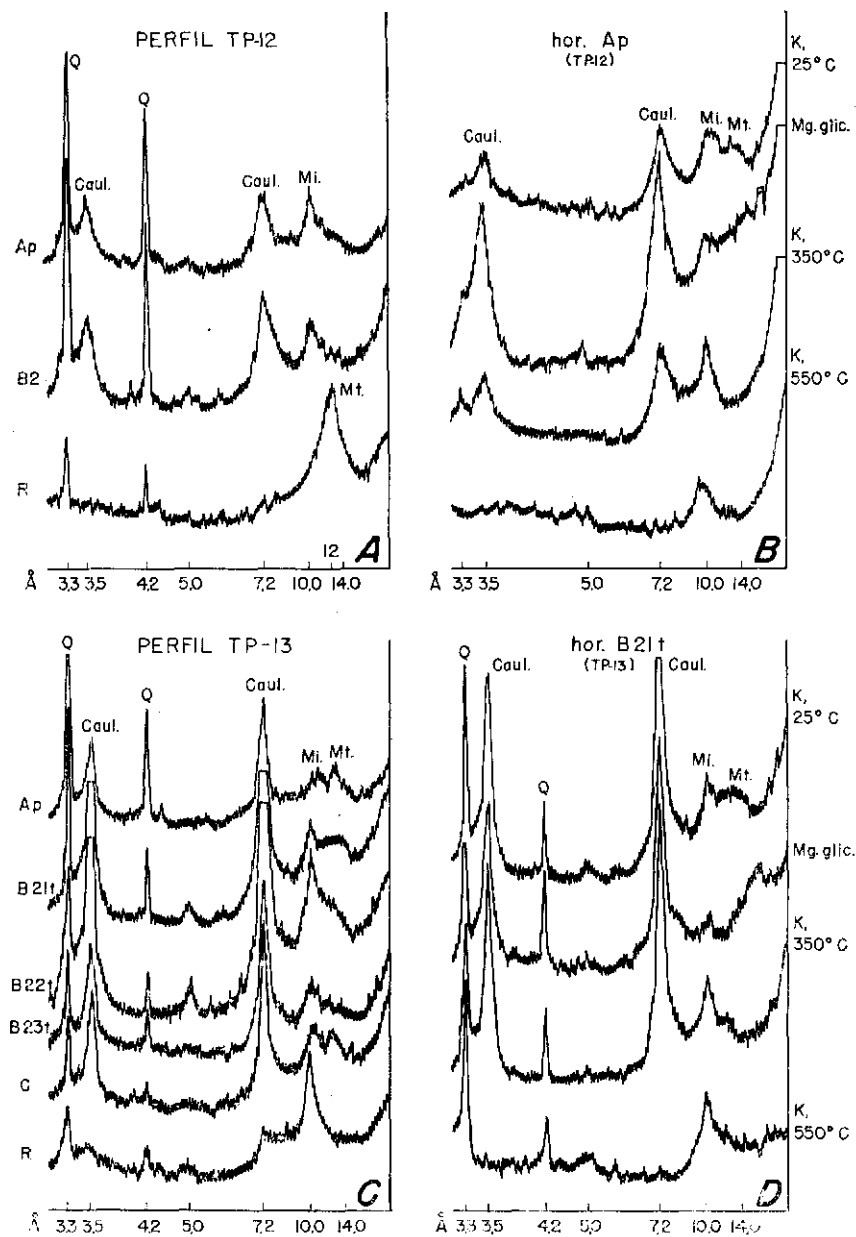


FIGURA 2. — Difratoigramas do perfil TP-12; *A* — fração argila grossa, *B* — fração argila fina do horizonte Ap, com vários tratamentos; perfil TP-13: *C* — fração argila grossa, *D* — fração argila grossa do horizonte B21t, com vários tratamentos.



O quartzo não foi encontrado na fração argila fina do perfil TP-12 (figura 2-B), indício de sua menor resistência ao intemperismo, quando finamente dividido.

A presença de caulinita e de mica na fração argila grossa, do perfil TP-12, pôde ser constatada, também, pela microfotografia eletrônica (figura 3-A).

O termograma da fração argila fina do horizonte B2 do perfil TP-12 (figura 4) mostra o pico endotérmico da caulinita (575°C). Nota-se a ausência do pico endotérmico da gibbsita (320°C), o que confirma o resultado da difração dos raios X. A análise térmico-diferencial é um método muito sensível para verificação da presença de gibbsita, mesmo quando em concentração da ordem de 1%.

A unidade TP-13 apresentou-se numa fase mais avançada de intemperismo (quadro 2). Ela provém de rocha semelhante à da unidade TP-12, o que facilita a comparação. Como indício dessa maior evolução, tem-se: *a*) um solo mais desenvolvido (podzólico) em relação à unidade TP-12 (litossolo); *b*) maior teor de caulinita na unidade TP-13 em relação à TP-12.

A evolução mineralógica ao longo do perfil, tomando-se a rocha como ponto de referência, é semelhante à unidade TP-12, mas a intensidade do processo é superior. Assim é que a caulinita aumenta de 29,0% (R) para 48,0% (Ap), na fração argila grossa, e de 22,5% (R) para 53,0% (Ap), na argila fina. A alofana diminui de 19,4% (R) para 9,6% (Ap), na argila grossa, e de 25,0% (R) para 19,0% (Ap), na argila fina. A vermiculita apresenta valores relativamente constantes, ao redor de 10%, tanto na argila grossa como na fina. A mica decresce acentuadamente, de 24,8% (R) para 9,2% (Ap), na argila grossa, e de 17,0% (R) para 3,7% (Ap), na argila fina.

Os resultados obtidos para os perfis TP-12 e TP-13 confirmam a seqüência de intemperismo mica → caulinita (19, 21), assim como a diminuição do teor de alofana nos materiais em estádios de meteorização mais avançados sustenta os resultados encontrados para Terra Roxa Extruturada e Latossolo Roxo (21).

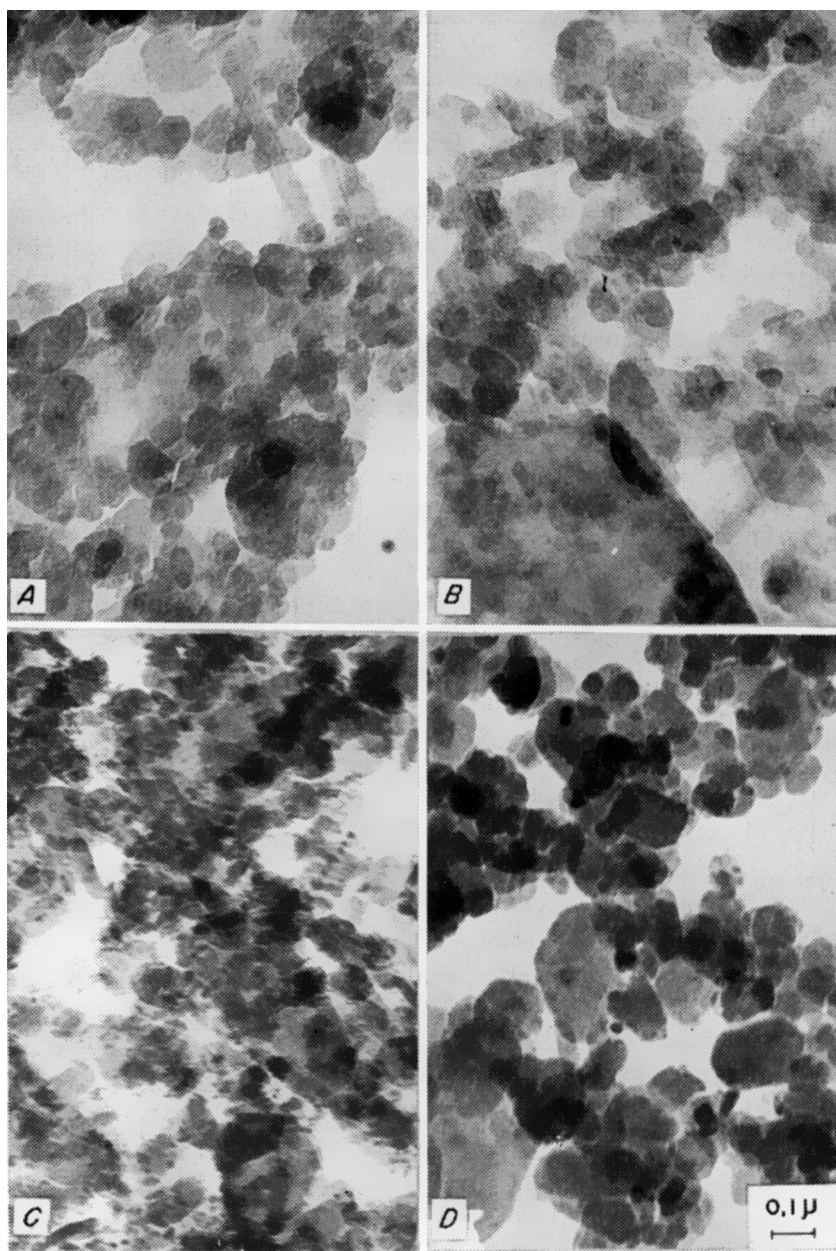


FIGURA 3. — Fotomicrografias electrónicas: *A* — argila grossa do perfil TP-12 (hor. B2), observando-se placas hexagonais de caulinita e ripas de mica; *B* — argila fina do perfil TP-13 (hor. B2t), observando-se particulas de caulinita e ripas de mica; *C* — argila grossa do perfil TP-17 (hor. B22), notando-se particulas irregulares de caulinita; *D* — argila fina do perfil TP-18 (hor. B21), observando-se placas hexagonais de caulinita.

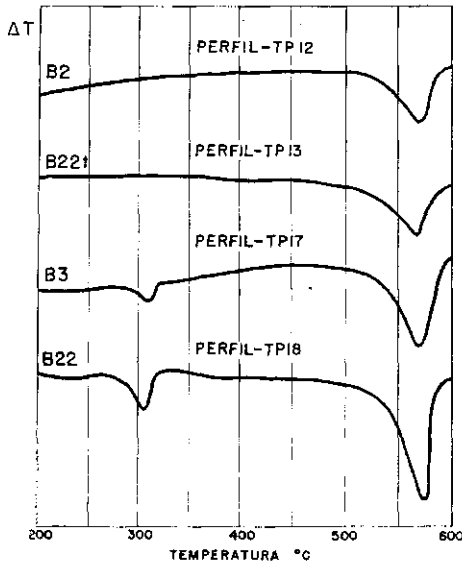


FIGURA 4. — Termogramas da fração argila fina do perfil TP-12 (hor. B2); da fração argila grossa do perfil TP-13 (hor. B22t); da fração argila grossa do perfil TP-17 (hor. B3); e da fração argila fina do perfil TP-18 (hor. B22).

Os difratogramas da fração argila grossa do perfil TP-13 mostraram os picos da caulinita, da mica, do quartzo e da montmorilonita (figura 2-C). Observa-se o decréscimo do teor de mica nos horizontes superficiais.

Os difratogramas da fração argila grossa do horizonte B21t do perfil TP-13 mostraram a expansão do espaçamento basal da montmorilonita, quando tratada com etileno glicol, assim como sua contração após aquecimento a 350°C (figura 2-D). Observou-se o desaparecimento da caulinita após o aquecimento a 550°C, devido à sua destruição.

QUADRO 2. — Composição mineralógica das frações argila grossa e argila fina do Podzólico Vermelho-Amarelo variação Piracicaba, perfil TP-13

Mineral	Horizonte					
	Ap	B21t	B22t	B23t	C	R
	%	%	%	%	%	%
<b>ARGILA GROSSA (2-0,2<math>\mu</math>)</b>						
Caulinita .....	48,0	52,5	52,0	53,0	53,0	29,0
Gibbsita .....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mica .....	9,2	8,5	11,0	10,1	11,0	24,8
Vermiculita .....	10,7	10,5	12,6	11,6	10,1	11,6
Montmorilonita .....	25,6	11,5	7,7	7,2	6,0	6,0
Alófana .....	9,5	14,1	12,1	11,1	16,4	19,4
Soma .....	103,1	97,1	95,4	93,0	96,5	90,8
<b>ARGILA FINA (&lt;0,2<math>\mu</math>)</b>						
Caulinita .....	53,0	47,0	55,0	45,5	43,0	22,5
Gibbsita .....	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mica .....	8,7	9,4	11,5	12,6	15,2	17,0
Vermiculita .....	8,0	10,0	10,0	9,8	11,2	10,4
Montmorilonita .....	6,0	6,0	4,0	3,9	7,5	7,8
Alófana .....	19,0	19,8	17,7	19,8	23,2	25,0
Soma .....	94,7	92,2	98,2	91,6	100,1	82,7

As microfotografias eletrônicas da fração argila fina do perfil TP-13 confirmaram a presença de caulinita e de mica (figura 3-B).

O termograma da fração argila grossa do perfil TP-13 (hor. B22t) apresentou o pico endotérmico da caulinita a 575°C (figura 4).

Dematté (7), estudando os perfis P1, P2, P3 e P4, classificados como Podzólico Vermelho-Amarelo variação Piracicaba, assim como Queiroz (24), estudando solo semelhante (perfil RC-60), encontrou a caulinita como mineral dominante, acompanhada de mica, o que está de acordo com os resultados obtidos no presente estudo. A Comissão de Solos do Serviço Nacional de Pesquisas Agrônomicas (25), estudando um Podzólico Vermelho Amarelo variação Piracicaba, do município de Leme (perfil n.º 3), citou o quartzo como sendo o mineral dominante da fração argila de vários horizontes (Ap, B22, C e D), o que não está de acordo com os dados aqui apresentados. A possível explicação para aqueles resultados seria: a) uma contaminação da fração argila por componentes de frações mais grosseiras; b) ou, o que parece mais provável, uma interpretação errônea da quantidade de quartzo baseada na altura do pico registrada nos difratogramas. Neste último caso, muito embora a concentração de quartzo possa ser na realidade bem inferior à dos argilo-minerais, a intensidade de seu espaçamento basal principal (3,34 Å) pode ser igual, ou mesmo superior, à dos argilo-minerais.

Os perfis TP-17 e TP-18 apresentaram composição mineralógica semelhante, com pequenas variações na porcentagem dos minerais em profundidade (quadros 3 e 4).

Verificou-se que o mineral predominante nos dois perfis é a caulinita, com valores superiores a 60%, seguindo-se-lhe, em menores proporções, a alofana, a gibbsita, a mica e a vermiculita, em ordem decrescente de porcentagem.

Comparando-se os dois perfis, verificou-se que o TP-18 está ligeiramente mais intemperizado do que o TP-17, tomando-se como índice (21) o teor de gibbsita (média do perfil: 9,2% no TP-18 versus 3,7% no TP-17).

Quadro 3. — Composição mineralógica das frações argila grossa e argila fina do Latossolo Vermelho-Escuro orto, perfil TP-17

Mineral	Horizonte							C
	Ap	B21	B22	B23	B24	B3	C	
	%	%	%	%	%	%	%	%
<b>ARGILA GROSSA (2-0,2<math>\mu</math>)</b>								
Caulinita .....	73,0	78,0	67,5	75,0	74,5	76,5	75,5	
Gibbsita .....	4,0	3,6	3,5	4,0	3,6	2,6	4,4	
Mica .....	2,5	2,3	4,1	3,0	2,5	2,8	3,4	
Vermiculita .....	0,1	0,7	0,7	0,6	0,6	0,1	0,1	
Alofana .....	15,4	10,5	14,7	12,7	22,0	12,3	10,0	
Soma .....	95,0	95,1	90,5	95,3	103,2	94,3	93,4	
<b>ARGILA FINA (&lt;0,2<math>\mu</math>)</b>								
Caulinita .....	76,5	71,5	70,0	65,5	71,0	74,0	69,0	
Gibbsita .....	2,0	1,5	2,5	2,5	2,0	3,0	5,0	
Mica .....	3,9	5,3	2,5	2,3	2,3	1,8	10,8	
Vermiculita .....	0,6	0,3	0,2	0,4	0,8	0,5	0,3	
Alofana .....	20,0	25,0	27,2	22,7	27,0	24,3	15,0	
Soma .....	103,0	103,6	102,4	93,4	103,1	103,6	100,1	

Quadro 4. — Composição mineralógica das frações argila grossa e argila fina do Latossolo Roxo, perfil TP-18

Mineral	Horizonte						
	Ap	B21	B22	B23	B31	B32	B33
	%	%	%	%	%	%	%
<b>ARGILA GROSSA (2-0,2<math>\mu</math>)</b>							
Caulinita .....	79,0	70,5	63,5	70,5	70,0	70,0	65,5
Gibbsita .....	11,0	15,0	5,3	6,0	8,5	7,5	11,0
Mica .....	0,7	0,9	0,7	1,4	0,7	0,9	0,9
Vermiculita .....	0,5	0,4	0,9	0,8	1,0	0,5	0,4
Alofana .....	12,5	16,6	26,0	21,5	20,1	23,4	19,7
Soma .....	103,7	103,4	96,4	100,2	100,3	102,3	97,5
<b>ARGILA FINA (&lt;0,2<math>\mu</math>)</b>							
Caulinita .....	79,0	75,0	66,7	72,0	71,5	71,5	70,5
Gibbsita .....	9,0	10,0	5,5	6,5	9,0	9,0	8,5
Mica .....	1,4	1,4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5
Vermiculita .....	0,7	0,2	1,8	0,1	0,2	0,1	0,3
Alofana .....	13,6	16,0	21,0	22,5	21,5	18,0	20,0
Soma .....	103,7	102,6	95,7	101,8	102,9	99,3	99,8

A composição mineralógica da fração argila grossa é bem semelhante à da fração argila fina, nos dois perfis. A única exceção encontrada foi o maior teor de alofana na argila fina em relação à argila grossa do perfil TP-17 (quadro 3). Deixando de lado o comportamento da alofana, não confirmado no estudo do perfil TP-18, pode-se concluir tentativamente que, nos estádios avançados da meteorização, a composição mineralógica das duas frações da argila (grossa e fina) são bem semelhantes, ao contrário do encontrado em solos de regiões de clima temperado (4), onde existe uma significativa diferença entre a composição mineralógica das duas frações da argila.

Identificaram-se caulinita, principal constituinte, vermiculita e gibbsita nos difratogramas da fração argila fina do perfil TP-17 (figura 5-A).

Os difratogramas da fração argila grossa do horizonte B3 do perfil TP-17 (figura 5-B) mostraram os mesmos minerais da figura 5-A, notando-se a contração do espaçamento basal da vermiculita a 350°C, acentuada a 550°C, e o desaparecimento da caulinita quando aquecida a 550°C.

Os difratogramas da fração argila grossa do perfil TP-18 (figura 5-C) mostraram a presença dos mesmos minerais do perfil TP-17. Notou-se, contudo, maior teor de gibbsita.

Os difratogramas da fração argila fina do horizonte B22 do perfil TP-18 (figura 5-D) mostraram indícios de vermiculita, e a caulinita, quando aquecida a 550°C, teve sua estrutura destruída.

A presença de caulinita, nas frações argila dos perfis TP-17 e TP-18, foi constatada através da microscopia eletrônica. O horizonte B22 do perfil TP-17 apresentou partículas irregulares (figura 3-C), enquanto o horizonte B21 do perfil TP-18 apresentou placas hexagonais (figura 3-D).

O termograma da fração argila grossa do horizonte B3 do perfil TP-17 mostra, na figura 4, os picos endotérmicos da gibbsita (320°C) e da caulinita (575°C). O mesmo acontece no termograma da fração argila fina do horizonte B22 do perfil TP-18 (figura 4). Nota-se a maior área do pico da gibbsita no perfil TP-18, em relação ao perfil TP-17, devido à maior quantidade daquele mineral presente.



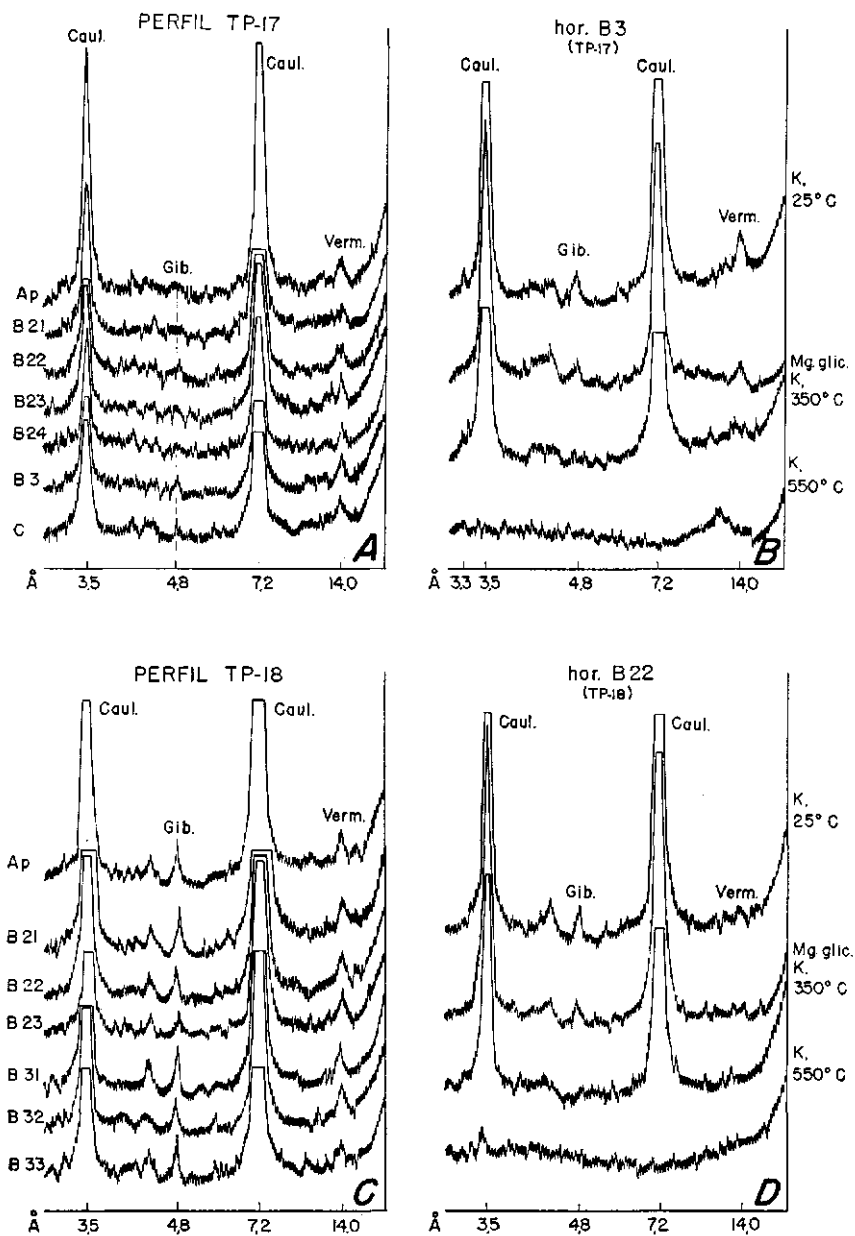


FIGURA 5. -- Difratogramas do perfil TP-17: *A* — fração argila fina, *B* — fração argila grossa do horizonte B3; perfil TP-18: *C* — fração argila grossa, *D* — fração argila fina do horizonte B22.

Comumente, em regiões tropicais, o grau de intemperismo de um solo é avaliado através do índice Ki, obtido pela relação molecular  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ . Esse índice pode ser obtido com relativa facilidade, já que em grande número de laboratórios de solo a determinação do silício e do alumínio é feita rotineiramente. Com o mesmo propósito, pode-se utilizar o índice intemperismo médio, proposto por Jackson e Sherman (14):

$$\text{IM} = \frac{\sum (\text{pS})}{\sum (\text{p})}$$

onde :

- IM = intemperismo médio;  
 p = porcentagem do mineral na fração argila do solo;  
 S = estágio de intemperismo do mineral segundo a tabela da seqüência de intemperismo (15);  
 $\sum$  = somatória.

Os valores encontrados para os índices Ki e intemperismo médio mostraram ser o Podzólico Vermelho-Amarelo variação Piracicaba (TP-13) mais intemperizado do que o Litossolo fase folhelho-argilito (TP-12), como pode ser visto no quadro 5. A fração argila fina apresentou-se ligeiramente mais intemperizada do que a fração argila grossa, como indicam os valores de Ki e do intemperismo médio.

QUADRO 5. — Valores da relação molecular sílica/alumina e do intemperismo médio do horizonte B de cada uma das unidades estudadas

Perfil	Horizonte	Argila grossa		Argila fina	
		Ki	Intemperismo médio	Ki	Intemperismo médio
TP-12 .....	B2 .....	3,06	9,0	2,80	9,2
TP-13 .....	B22t .....	2,70	9,3	2,20	9,4
TP-17 .....	B21 .....	1,83	9,9	1,61	9,9
TP-18 .....	B21 .....	1,71	10,1	1,70	10,1

Entre os latossolos, o Latossolo Vermelho-Escuro orto (TP-17) apresentou maior índice Ki e menor de intemperismo médio na fração argila grossa (quadro 5), indício de seu estágio ligeiramente menos avançado de alterações em relação ao Latossolo Roxo (TP-18).

Entre os perfis TP-17 e TP-18 não existe distinção nítida entre o grau de intemperismo da argila grossa e o da argila fina, já que apresentam o mesmo valor para o intemperismo médio, e a diferença no valor Ki não é suficientemente grande para indicar uma nítida diferença.

A distribuição dos minerais, segundo as fases de intemperismo, encontra-se na figura 6, tendo-se escolhido o horizonte B como exemplo. Como se observa, a intensidade de alteração dos perfis estudados obedece à seguinte ordem: TP-12 < TP-13 < TP-17 < TP-18.

Tendo tomado o teor de gibbsita, ou o valor do Ki, como índice de intemperismo, verificou-se que o Latossolo Roxo (TP-18) é menos intemperizado do que um perfil de Latossolo Roxo de Campinas (21), situado também na depressão periférica. O mesmo acontece em relação a solos do planalto ocidental, como os cinco perfis descritos pela Comissão de Solos do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas (25), os três perfis estudados por Moniz e Jackson (27) e os dois perfis (21) estudados por Carvalho e Montgomery (6). Deve-se ressaltar que, o perfil TP-18, além de ser mais rico em caulinita (70%) do que os quatro perfis Latossolo Roxo, estudados por Moniz e Jackson (valor médio igual a 35%), também o é em relação aos três perfis de Terra Roxa Estruturada, estudados pelos mesmos autores (valor médio igual a 48%).

Bates (3), estudando solos do Haváí, observou que o produto final do processo de meteorização dos minerais das rochas e dos solos é constituído de gibbsita, goetita e anatásio, e que a alteração dos minerais do solo e da rocha se realiza pelo processo de dessilicização. Resultado semelhante foi encontrado por Mohr e van Baren (22) e por Moniz e Jackson (21), para solos tropicais. Segundo os dados aqui apresentados, pode-se observar uma clara diminuição no teor de mica do perfil TP-12 para o TP-13, acom-

panhada de um aumento de caulinita no mesmo sentido, indício da ação do processo de dessilicização. A presença constante de gibbsita nos latossolos (TP-17 e TP-18) é explicada pelo mesmo processo, já num estágio mais avançado.

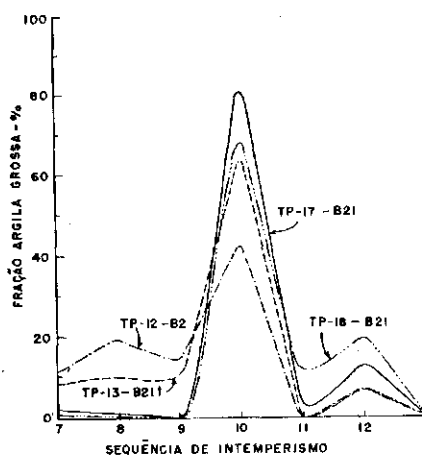


FIGURA 6. -- Distribuição dos minerais da fração argila grossa, segundo a fase de intemperismo, dos perfis TP-12 (hor. B2), TP-13 (hor. B21t), TP-17 (hor. B21) e TP-18 (hor. B21).

A alteração de mica em vermiculita, mostrada nos trabalhos de Borchardt (4) e Hseung e Jackson (12), em solos de clima temperado, parece ocorrer também em nossos solos, como fase intermediária da alteração da mica em caulinita.

De acordo com os dados mineralógicos aqui apresentados, para as unidades TP-12, TP-13, TP-17 e TP-18, pode-se sugerir a seguinte seqüência de intemperismo :

*mica* → *vermiculita* → *caulinita* → *gibbsita*

Essa seqüência é semelhante à que ocorre em outros solos de regiões tropicais (8, 21).

#### 4 — CONCLUSÕES

As análises mineralógicas quantitativas das frações argila grossa e argila fina dos quatro perfis de uma toposseqüência do ribeirão Tijuco Preto revelaram que a intensidade de alteração dos perfis obedece à seguinte ordem: TP-12 < TP-13 < TP-17 < < TP-18. Esses resultados estão de acordo com a evolução morfológica dos perfis, a qual se pode considerar teoricamente como iniciando-se pelo litossolo (TP-12), um solo pouco desenvolvido, seguindo-se numa fase intermediária um solo com B textural Podzólico Vermelho-Amarelo (TP-13), até atingir, finalmente, a fase do latossolo (TP-17 e TP-18).

Com base nos dados mineralógicos encontrados pode-se sugerir a seguinte seqüência de intemperismo: *mica* → *vermiculita* → *caulinita* → *gibbsita*. Essa seqüência está de acordo com os dados da literatura, para solos tropicais. A colocação da vermiculita, nessa seqüência, justifica-se por ter sido inicialmente verificado em solos de regiões temperadas que esse argilo-mineral provinha da alteração da mica. Sendo um argilo-mineral, encontrado freqüentemente em solos do Brasil, decidiu-se colocá-lo na seqüência de intemperismo.

O principal argilo-mineral encontrado nesses solos foi a caulinita, que atinge a maior concentração nos latossolos (superior a 60%). Nas unidades menos alteradas, seu teor é menor. Nas unidades TP-12 e TP-13 encontram-se, em ordem decrescente, além da caulinita, os seguintes minerais de argila: vermiculita, montmorilonita, alofana e mica. Nas unidades mais alteradas (TP-17 e TP-18) encontram-se, em ordem decrescente, além da caulinita, os seguintes minerais de argila: alofana, gibbsita, mica e vermiculita. Montmorilonita não foi encontrada nesses dois solos.

GENESIS AND CLASSIFICATION OF SOME SOILS FROM  
THE HYDROGRAPHIC BASIN OF TIJUCO PRETO STREAM,  
RIO DAS PEDRAS COUNTY, SP.

I — QUANTITATIVE MINERALOGICAL ANALYSIS  
OF CLAY FRACTION

SUMMARY

The four soil profiles studied occur on a toposequence. The less weathered soils, a Lithosol-argillite-shale substratum phase (TP-12) and a Red-Yellow Podzolic Soil Piracicaba variation (TP-13) are located on the lower part of the toposequence. Both soils are derived from the same kind of parent material, a siltstone of the Corumbataí formation.

The more weathered soils, an Ortho Dark Red Latosol (TP-17) and a Latosol Roxo (TP-18) are located on the upper part of the toposequence. The parent material of the latter is igneous basic rock while the former had some contribution of igneous basic rock.

According to the weathering mean data obtained, the intensity of weathering is the following: TP-12 < TP-13 < TP-17 < TP-18. There is an increase in the kaolinite content from 31.5% (TP-12) to 74.5% (TP-17) with intermediate values of 52.0% (TP-13) and 70.0% (TP-18) in the coarse clay of B horizon. Although the profile TP-18 is slightly less kaolinitic than the TP-17, it is somewhat more weathered, considering it contains 9.2% of gibbsite versus 3.7% in the TP-17.

In the profiles TP-12 and TP-17, besides kaolinite, vermiculite, montmorillonite, allophane, mica, but not gibbsite were found. In the profiles TP-17 and TP-18, besides kaolinite, allophane, gibbsite, mica, vermiculite but not montmorillonite were found.

LITERATURA CITADA

1. ALEXIADES, 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: Proc. 14th Conf. Clays and Clay Minerals, 1966. p.32-35.
3. BATES, T. F. Rock weathering and clay formation in Hawaii. Mineral Inds. 29(8):1-6, 1960.
4. BORCHARDT, G. A.; JACKSON, M. L. & HOLE, F. D. Expansile layer silicate genesis on soils depicted in mica pseudomorphs. In: Int. Clay Conf., Israel, 1966. Proceedings. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translation, 1966. v.1., p.175-185.

5. BRINDLEY, G. W. Identification of clay minerals by X-ray diffraction analysis. In: *Clays and Clay technology: Proceedings of the Nat. Conf. Clays and Clay technology*, 1st, San Francisco, 1952. San Francisco, Department of Natural Resources, 1955. p.119-120. (Bull. 169)
6. CARVALHO, A. & MONTGOMERY, R. F. Estudo de uma ocorrência de Terra Roxa Estruturada e Latossolo Roxo numa sequência topográfica, no Estado de São Paulo. [Trabalho apresentado no XIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, realizado em Vitória, de 12 a 22 de julho de 1971]
7. DEMATTÊ, J. L. I. Estudo pedológico de perfis de solos da série Ibitiruma. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», 1968. 83p. [Tese de Doutorado]
8. ——— & MONIZ, A. C. Estudo pedológico de três perfis da série Guamium. *Bragantia* 30:179-197, 1971.
9. DIXON, J. B. Quantitative analysis of kaolinite and gibbsite in soils by differential thermal and selective dissolution methods. In: *Proc. 14th Conf. Clays and Clay Minerals*, 1966. p.83-89.
10. ENDELL, K. Pesquisa radioscópica de argilas e sua importância técnico-econômica. In: *Analyse de Solos*. II. Campinas, Instituto Agrônômico, 1937. p.23-40. (Boletim técnico 31)
11. ESCOBAR, E. A.; DEMATTÊ, J. L. I. & MONIZ, A. C. Gênese e classificação de alguns solos da bacia do ribeirão Tijuco Preto, município de Rio das Pedras, SP. II — Classificação dos solos. *Bragantia* 32: 117-136, 1973.
12. HSEUNG, Y. & JACKSON, M. L. Mineralogical composition of the clay fraction. III. Of some main soil groups of China. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 16:294-297, 1952.
13. JACKSON, M. L. *Soil chemical analysis: advanced course*. Madison, Univ. of Wis., Department of Soil Science, 1965. 991p.
14. ——— & SHERMAN, G. D. Chemical weathering of minerals in soils. *Adv. Agron.* 5:221-318, 1953.
15. ———; TYLLER, S. A.; WILLIS, A. L.; BOURDEAU, G. A. & PENNINGYON, R. D. Weathering sequence of clay-size minerals in soil and sediments. I. *J. phys. Colloid Chem.* 52:1237-1260, 1948.
16. MELFI, A. J. Intemperismo de granitos e diabásio no município de Campinas e arredores, Est. de São Paulo. São Paulo, Fac. Fil. Ciênc. Letr. Univ. São Paulo, 1967. 166p.
17. ———; GIRARDI, V. A. V. & MONIZ, A. C. Mineralogia dos solos da Estação Experimental «Theodureto de Camargo». *Bragantia* 25: 9-30, 1966.
18. MENDES, A. C. T. Ocorrência de halloysita em solos do município de Pindorama. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», 1968. 70p. [Tese de Livre Docência]
19. MONIZ, A. C. Estudo mineralógico de argilas do maciço alcalino de Poços de Caldas. São Paulo, Fac. Fil. Ciênc. Letr. Univ. São Paulo, 1969. 134p. (Rol. 304 — Mineralogia 19)

20. MONIZ, A. C. & CARVALHO, A. Seqüência de evolução de solos derivados do arenito Bauru e de rochas básicas da região noroeste do Estado de São Paulo. *Bragantia* 32:309-335, 1973.
21. ——— & JACKSON, M. L. Quantitative mineralogical analysis of Brazilian soils developed from basic rocks and slate. Wisconsin, 1967. 74p. (Soil Science Report 212)
22. MOHR, E. C. J. & VAN BAREN, F. A. Tropical soils. London, Interscience Publishers, 1954. 498p.
23. PAIVA NETTO, J. E. A «fração argila» dos solos do Estado de São Paulo, seu estudo roentgenográfico. *Bragantia* 2:355-432, 1942.
24. QUEIROZ NETO, J. P. Interpretação dos solos da serra de Santana para fins de classificação. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», 1969. 135p. [Tese de Doutorado]
25. 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. (Boetím 12)
26. VISCONTI, Y. S.; NICOT, B. N. F.; GOULART DE ANDRADE, E. & VILLANOVA, A. C. Contribuição ao estudo dos caulins: morfologia tubular de certos caulins brasileiros. Rio de Janeiro, Instituto Nacional de Tecnologia, 1955. 64p.