

- affected by fertility treatments and deep placement of limestone. *Agron. J.*, 63:931-934, 1971.
- KAMPRATH, E. J. - A acidez do solo e a calagem. Columbia, Univ. Estadual de Carolina do Norte, 1967. (Boletim Técnico, 2)
- LUTZ, JR., J. A. & JONES, G. D. - Chemical composition and yield of corn as affected by deep placement of dolomitic limestone. *Agron. J.*, 63:9-11, 1971.
- MACHADO, M. O. - Estudo agro-econômico da aplicação de calcário na sucessão trigo-soja em oxissolos das unidades de mapeamento Durox e Vacaria. Tese de mestrado, Porto Alegre, Faculdade de Agronomia-UFRGS. 1975. 170f.
- MIELNICZUK, J. - Formas de potássio em solos do Brasil. *R. bras. Ci. Solo*, 1:55-61, 1977.
- ROGERS, L. H. & WU, C. H. - Zinc uptake by oats as influenced by applications of lime and phosphorus. *J. Amer. Soc. Agron.*, 40:563-566, 1948.
- SEÁTZ, L. F.; STERGES, A. J.; KRAMER, J. C. - Crop response to zinc fertilizations as influenced by lime and phosphorus applications. *Agron. J.*, 51:457-59, 1969.
- VIDOR, C. & FREIRE, J. R. J. - Calibração de análises de solo para a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Agron. Sulriogr.* 5:63-72, 1971.
- VIDOR, C. & FREIRE, J. R. J. - Controle de toxidez de alumínio e manganês em *Glycine max* (L.) Merrill pela calagem e adubação fosfatada. *Agron. Sulriogr.*, 8:73-87, 1972.
- VOLKWEISS, S. J. & LUDWICK, A. E. - O melhoramento do solo pela calagem. Depto. Solos, Fac. Agron., UFRGS. Porto Alegre, 1970. 30p. (Boletim Técnico 1)
- WUNSCH, W. A. - Avaliação de várias frações de calcário dolomítico em oxisol do Rio Grande do Sul. Tese de Mestrado, Porto Alegre, Faculdade de Agronomia-UFRGS, 1974. 97f.

## COMISSÃO V - GÊNESE, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

### TRANSFORMAÇÕES MINERALÓGICAS EM RUBROZENS DA BACIA SEDIMENTAR DE CURITIBA (PR) (1)

B. VOLKOFF (2) & A. J. MELFI (3)

#### RESUMO

O estudo mineralógico de dois perfis de Rubrozens, coletados na Bacia Sedimentar de Curitiba, permitiu caracterizar a evolução mineralógica da fração argila desses solos. A partir de uma rocha sedimentar, essencialmente esmectítica, desenvolve-se um solo com um horizonte B2 vermelho, rico em illita, caulinita e hematita, e horizontes A e B1, com caulinita, vermiculita aluminosa, gibbsita e goethita altamente aluminosa. Tal paragênese corresponde a um processo que envolve forte dessilicificação. No processo de alteração há a passagem da esmectita para caulinita, a qual, por sua vez, se desestabiliza nas condições de superfície, provavelmente devido à ação da matéria orgânica, formando a gibbsita. A aluminização superficial transforma illitas em vermiculita aluminosa e provoca a incorporação de grande quantidade de alumínio ao retículo da goethita.

#### SUMMARY: MINERALOGICAL TRANSFORMATION IN RUBROZEM SOILS OF CURITIBA SEDIMENTARY BASIN, PR

*A mineralogical study was carried out on two profiles of Rubrozens from the Curitiba Sedimentary Basin. The study allowed us to characterise the mineralogical evolution of the clay fraction and the processes involved.*

*From a sedimentary rock containing mainly smectite develops a soil having a red B2 horizon with illite, kaolinite and hematite and A and B1 horizons with kaolinite, aluminous vermiculite, gibbsite and high aluminous goethite. Such a paragenesis corresponds to a process related to strong desilicification.*

*It is shown here that the weathering process promotes the change of smectite into kaolinite, which in turn, becomes unstable in the surficial conditions, probably due to the action of organic matter and forms gibbsite. The surficial aluminization changes illites into aluminous vermiculite and promoted the incorporation of a high quantity of aluminum into goethite lattice.*

(1) Trabalho realizado com o suporte financeiro da FAPESP. Recebido para publicação em fevereiro de 1980 e aprovado em novembro de 1980.

(2) ORSTOM (França) - Instituto de Geociências, USP.

(3) Departamento de Geologia Geral - Instituto de Geociências, USP.

O.R.S.T.O.M.

Fonds  
N° R. 1721  
Cote B  
Date 9 AOUT 1982

## INTRODUÇÃO

Os Rubrozens foram descritos pela primeira vez por Bramão & Simonsen (1956) nos arredores de Curitiba (PR). Trata-se de solos com profundidade ao redor de 1m, apresentando um horizonte A escuro bem desenvolvido e um horizonte B vermelho. O horizonte A, com espessura da ordem de 40cm, é argiloso, rico em matéria orgânica e apresenta estrutura grumosa. O horizonte B vermelho é igualmente argiloso e apresenta estrutura em blocos bem desenvolvida. No perfil, a variação textural é muito pequena, sendo o horizonte A quase tão argiloso quanto o B. O pH é o ácido em todos os horizontes, e da ordem de 4, enquanto a capacidade de troca é elevada e, a saturação em bases, muito baixa.

Solos semelhantes a esses, estudados em diferentes locais, foram classificados como «Brown Forest Soils» (Tavernier & Smith, 1957), «Lateritic Podzolic Soils» (Bennema, 1963), «Humic Acrisols» (Dudal, 1968) e «Humults» (EUA, Soil Survey Staff, 1975). Entretanto, no Brasil, tais solos são ainda considerados como formadores de uma classe taxonômica: o *Grande Grupo Rubrozem*.

Apesar de sua fração argilosa apresentar uma composição complexa, caracterizada por uma paragênese não comum, poucos são os estudos mineralógicos sobre esse grande grupo. Bramão & Simonsen (1956) colocaram em evidência a natureza ílitica de suas argilas, e associaram, a esse fato, os elevados valores encontrados para a capacidade de troca. Trabalhos mais recentes (Lima, 1974, e Lima *et alii*, 1977) mostram que os elevados valores da capacidade de troca dependem também da presença de esmectitas. Esses mesmos autores observaram ainda que os horizontes superficiais (A) eram formados a partir de materiais retrabalhados e que, em tais horizontes, acompanhando as esmectitas era encontrada gibbsita. Concluíram dessa forma que os perfis eram poligenéticos, moderadamente desenvolvidos e formados por dois materiais originais, um gibbsítico e, outro, caracterizado pela associação ilita-montmorilonita-caulinita.

À falta de um estudo mineralógico mais pormenorizado da fração argila, incluindo os constituintes ferríferos e, sobretudo, o desconhecimento da evolução dessa fração, em termos de filiações mineralógicas, motivou a realização desta pesquisa, onde se procura mostrar o comportamento evolutivo dos sucessivos horizontes dos perfis de Rubrozens, com o objetivo de caracterizar o desenvolvimento da pedogênese.

## MATERIAL E MÉTODOS

### O Meio Físico

Os Rubrozens estudados, localizados nos arredores de Curitiba, são formados sobre sedimentos da bacia de Curitiba (Formação Guabirota, de Bigarella & Salamuni, 1962). Essa pequena bacia sedimentar, de aproximadamente 500km<sup>2</sup>, encontra-se encravada no Planalto Cristalino do Paraná, a uma altitude de 800m. A deposição dos sedimen-

tos da Formação Guabirota ocorreu no Plio-Pleistoceno, durante um período semi-árido. Os tipos litológicos predominantes são pelitos e arcóseos intercalados, que foram parcialmente erodidos e redepositados durante o Holoceno.

O relevo, ligeiramente ondulado, é formado por uma sucessão de baixas colinas, com topos achatados, e separados por vales com fundos planos, correspondentes aos depósitos holocenos. Os desníveis são fracos.

O clima atual é caracterizado por uma pluviosidade média anual de 1.600mm, sem apresentar uma estação seca, verdadeiramente marcada; existe simplesmente um mínimo entre abril e agosto e um máximo entre dezembro e janeiro. A temperatura média anual é de 16,5°C, sendo o mês de julho o mais frio (média de 12,8°C) e, janeiro, o mais quente (média de 20,4°C).

A vegetação dominante é de *campo*, que corresponde a uma savana de altitude, com numerosos núcleos de floresta de araucária (*Araucária augustifolia*).

### Os Solos

Dois perfis de Rubrozens foram escolhidos. Um, situado a sudeste de Curitiba, na periferia da cidade, no bairro Cajuru, no alto de uma colina, sob vegetação de campo (perfil MPR-5). Outro, situado a nordeste de Curitiba, a 17km da cidade, na estrada Curitiba-São Paulo, no bairro Jardim Menino Deus, igualmente no topo de uma colina e sob vegetação de campo (perfil MPR-4).

O perfil MPR-5 (Figura 1) comporta, esquematicamente, um horizonte A escuro, argiloso, de 35cm de espessura, apresentando uma ligeira concentração de pequenos grãos de quartzo entre 20 e 25cm de profundidade, um horizonte AB de 10cm, bruno-avermelhado, e um horizonte B2 vermelho (2,5YR 4/6), argiloso, com estrutura em blocos muito nítida. Esse horizonte tem 45cm de espessura e pode ser subdividido em B21 e B22, sendo o B21 bem menos estruturado, porém mais poroso que o B22. Através de uma transição de 20cm, passa-se ao material originário, que é uma argila cinza-clara, com pequenas manchas vermelhas.

No perfil MPR-4, como no MPR-5, observa-se uma concentração de fragmentos de quartzo do tamanho de cascalho e areia grossa. Entretanto, a concentração nesse caso forma uma linha ondulada entre 70 e 100cm de profundidade. Embora tênue e difusa, esta concentração equivale a uma «linha de pedras», e assim será chamada. Por causa das ondulações da linha de pedras neste perfil foram considerados duas fácies, descritas e amostradas numa mesma trincheira, a fácies A com linha de pedras a 70cm de profundidade e, a fácies B, com linha de pedras a 100cm.

A fácies A do perfil MPR-4 (Figura 1) apresenta um horizonte A escuro, argiloso, com 20cm de espessura e um horizonte AB, bruno-escuro, também de 20cm de espessura. Nesse perfil, existe um horizonte B1, bruno-amarelado, argiloso, com estrutura macia e porosa. Na sua base, a aproximadamente 70cm de profundidade, observa-se uma leve concentração de seixos de quartzo («linha de pedras»). O horizonte B2 vermelho (2,5YR 4/8) é pouco espesso, argiloso, com estrutura em blocos nítida; sua parte superior (B21) é um pouco mais amarela. Passa-se rapidamente ao material original, que é o mesmo do perfil MPR-5, mas com raras intercalações de camadas inclinadas de areias grossas e pequenos seixos de quartzo.

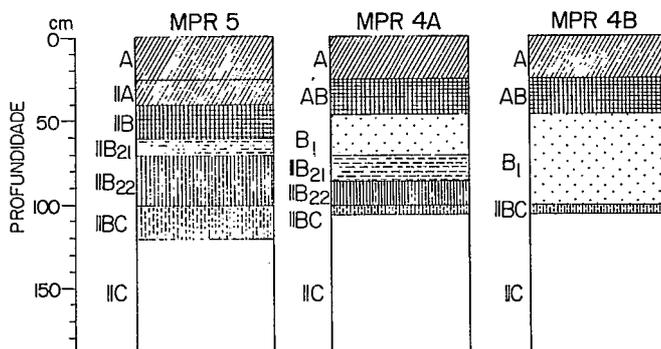


Figura 1. Representação esquemática dos perfis estudados: perfil MPR-5 e fácies A e B do perfil MPR-4.

Na fácies B do perfil MPR-4, a pequena concentração de seixos de quartzo encontra-se a 1m. O horizonte B1 Bruno-amarelado, de estrutura contínua, é mais espesso que as fácies A. Esse horizonte parece relativamente homogêneo, porém, nuances na cor e variações de porosidade permitem distinguir sub-horizontes B11, B12 e B13, sendo o B12 o mais amarelado e o mais poroso. Passa-se rapidamente de B1 a C, faltando completamente o equivalente do horizonte B2 vermelho, observado no perfil MPR-5 e no MPR-4, fácies A; apenas a transição BC pode ser reconhecida (Figura 1).

Os argilo-minerais dos sedimentos da Bacia de Curitiba foram caracterizados a partir de duas amostras, uma coletada na entrada da estrada de Paranaguá, a 10m de profundidade, e outra na margem da estrada Curitiba-São Paulo, a 19km de Curitiba, numa área fortemente erodida, onde os sedimentos são postos em afloramentos.

Os Métodos de Análise

Para caracterizar os solos, foram executadas na fração inferior a 2mm as seguintes análises de rotina: a) análise granulométrica pelo método da pipeta de Robinson, após destruição da matéria orgânica, pela água oxigenada, agitação mecânica por quatro horas, e utilizando o pirofosfato de sódio com dispersantes; b) pH em água e em KCl, em uma suspensão de relação solo/solução de 1/2,5; c) carbono orgânico total pelo método Anne; d) azoto total pelo método Kjeldahl; e) bases trocáveis por extração com acetato de amônio a pH 7 e dosagem dos cátions por absorção atômica; f) capacidade de troca pelo método do acetato de amônio a pH 7; g) alumínio trocável por extrações sucessivas com KCl N, e dosagem por absorção atômica; h) ferro total por ataque clorídrico-perclórico e dosagem por absorção atômica; ferro livre pelo método De Endredy (Segalen, 1970); i) ferro e alumínio amorfo pelo método de Segalen (1968).

O material para a análise mineralógica das argilas foi preparado de acordo com a metodologia estabelecida por Robert & Tessier (1974). A separação das argilas foi feita após destruição da matéria orgânica por água oxigenada e dispersão pelo hidróxido de sódio a pH 9. Uma parte da argila foi deferrificada (método De Endredy) e, uma parte, tratada com citrato de sódio para extração do alumínio interfoliar dos argilo-minerais 2/1. As argilas foram estudadas por difratometria de raios X e análise térmica diferencial.

Os hidróxidos de ferro foram identificados aos raios X, a partir de lâminas de pó do material enriquecido, obtido pelo ataque das argilas pelo hidróxido de sódio (0,4g de argila/1 litro de soda a 2N) em ebulição durante trinta minutos. Foi utilizado o mesmo equipamento e o mesmo anticatodo (cobre), mas variou-se a velocidade de rotação do goniômetro, passando para 1/4 ou 1/2 grau por minuto, ao invés de 1º/min. A raia d(111) da goethita foi determinada com precisão em relação à raia 2,370Å do nitrato de chumbo utilizado como padrão interno.

RESULTADOS

Caracterização Geral dos Solos

Os resultados das análises granulométricas, físico-químicas e químicas, efetuadas nos perfis MPR-5 e MPR-4, apresentados no quadro 1, evidenciam que os solos estudados são argilosos, 55 e 70% de argila, e que não existe um mercado gradiente textural. São solos ácidos, exibindo valores de pH(H<sub>2</sub>O) da ordem de 5 e pH(KCl) da ordem de 4 em todos os horizontes. As taxas de matéria orgânica são elevadas: 10% nos horizontes A e ainda 1 a 2% no horizonte B2. Essa matéria orgânica tem uma relação C/N elevada, geralmente superior a 20.

A capacidade de troca catiônica é superior a 10meq/100g, sendo os valores mais elevados encontrados nos horizontes A (15-25meq/100g) e C (15-30meq/100g). A dessaturação do complexo é muito forte, sendo sempre inferior a 10%, salvo nos primeiros 10cm de cada perfil de solo, onde pode atingir o valor de 25%. As taxas de alumínio trocável são também muito elevadas, existindo de 5 a 7meq/100g de alumínio trocável nos horizontes A e B, aumentando no C para valores superiores a 15-20meq/100g.

Os teores em ferro total são, respectivamente, de 7 e 10% para os dois perfis; 70 e 80% desse ferro se encontra sob a forma livre. Os teores em ferro e as relações ferro livre/ferro total são mais fracas no material original que no solo. Pelo método de Segalen, foram detectados apenas traços de ferro amorfo. As formas amorfas, ou muito facilmente solúveis, de alumínio detectadas pelo mesmo método de Segalen, são, ao contrário, abundantes. Em ambos os perfis, os teores aumentam na passagem de C para B, e não apresentam nenhuma variação na passagem de B para A. O perfil MPR-5 é mais rico em alumínio amorfo: 2% no horizonte C, 4% no B e cerca de 5% no A. No perfil MPR-4, esses valores são da ordem de 1% no C, 1,5% no B2 e 2% no B1 e A.

Quadro 1. Principais características analíticas de perfis da bacia sedimentar de Curitiba

| Horizonte             | Profundidade<br>cm | Granulometria <sup>(1)</sup> |    |    |    | pH  |     | Cátions trocáveis |     |                  |                  |                |                 |     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |      |             |     |
|-----------------------|--------------------|------------------------------|----|----|----|-----|-----|-------------------|-----|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----|--------------------------------|------|-------------|-----|
|                       |                    | a                            | s  | af | ag | C   | N   | H <sub>2</sub> O  | KCl | Ca <sup>++</sup> | Mg <sup>++</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | S   | Al <sup>+++</sup>              | T    | Total livre | %   |
| Perfil MPR 4 Fácies B |                    |                              |    |    |    |     |     |                   |     |                  |                  |                |                 |     |                                |      |             |     |
| A <sup>(2)</sup>      | 0-10               | 47                           | 11 | 21 | 6  | 6.3 | 0.2 | 5.0               | 4.1 | 2.6              | 1.2              | 0.55           | 0.05            | 4.6 | 4.4                            | 18.6 | 5.7         | 4.3 |
| A1                    | 10-20              | 47                           | 10 | 23 | 7  | 4.9 | 0.2 | 5.1               | 4.1 | 0.8              | 0.3              | 0.19           | 0.03            | 1.4 | 5.1                            | 16.3 | 6.1         | 4.5 |
| AB                    | 25-35              | 50                           | 10 | 24 | 7  | 2.7 | 0.1 | 5.1               | 4.1 | 0.4              | 0.2              | 0.11           | 0.02            | 0.7 | 5.1                            | 12.6 | 6.9         | 5.1 |
| AB                    | 35-45              | 52                           | 10 | 23 | 7  | 1.9 | 0.1 | 5.2               | 4.2 | 0.2              | 0.1              | 0.10           | 0.02            | 0.4 | 5.2                            | 11.8 | 7.1         | 5.1 |
| B11                   | 50-60              | 54                           | 11 | 22 | 6  | 1.4 | 0.1 | 5.1               | 4.2 | 0.1              | 0.1              | 0.12           | 0.03            | 0.3 | 5.2                            | 11.3 | 7.5         | 5.4 |
| B12                   | 70-80              | 54                           | 10 | 23 | 6  | 1.0 | -   | 5.2               | 4.2 | 0.1              | 0.1              | 0.10           | 0.03            | 0.3 | 5.2                            | 10.7 | 7.1         | 5.1 |
| B13                   | 85-95              | 55                           | 9  | 23 | 7  | 0.5 | -   | 5.2               | 4.1 | 0.1              | 0.1              | 0.15           | 0.04            | 0.4 | 7.0                            | 11.1 | -6.3        | 4.2 |
| Perfil MPR 4 Fácies A |                    |                              |    |    |    |     |     |                   |     |                  |                  |                |                 |     |                                |      |             |     |
| HB21                  | 70-80              | 55                           | 11 | 23 | 5  | 0.7 | 0.2 | 5.2               | 4.2 | 0.1              | 0.1              | 0.14           | 0.05            | 0.4 | 8.5                            | 10.5 | 7.2         | 5.0 |
| HB22                  | 85-95              | 55                           | 12 | 21 | 6  | 0.3 | -   | 5.2               | 4.0 | 0.1              | 0.2              | 0.23           | 0.08            | 0.6 | 9.4                            | 12.9 | 7.2         | 4.7 |
| HC1                   | 105-115            | 54                           | 16 | 20 | 5  | 0.1 | -   | 5.2               | 4.1 | 0.2              | 0.3              | 0.32           | 0.05            | 0.9 | 12.9                           | 16.7 | 7.5         | 3.7 |
| HC2                   | 140-150            | 53                           | 18 | 20 | 5  | -   | -   | 5.2               | 4.1 | 0.5              | 0.6              | 0.31           | 0.05            | 1.4 | 11.9                           | 15.5 | 4.1         | 2.0 |
| Perfil MPR 5          |                    |                              |    |    |    |     |     |                   |     |                  |                  |                |                 |     |                                |      |             |     |
| A <sup>(2)</sup>      | 0-10               | 59                           | 12 | 6  | 3  | 7.7 | 0.3 | 5.1               | 4.1 | 3.0              | 1.9              | 0.63           | 0.01            | 5.7 | 4.5                            | 24.3 | 8.4         | 6.3 |
| A1                    | 10-20              | 62                           | 12 | 6  | 3  | 5.7 | 0.2 | 4.8               | 4.1 | 0.7              | 0.6              | 0.28           | 0.06            | 1.6 | 7.8                            | 21.8 | 9.1         | 6.7 |
| IIA                   | 25-35              | 65                           | 12 | 6  | 3  | 4.0 | 0.1 | 4.9               | 4.1 | 0.3              | 0.2              | 0.24           | 0.06            | 0.8 | 7.1                            | 19.0 | 9.6         | 7.1 |
| IIAB                  | 40-50              | 68                           | 12 | 6  | 3  | 2.5 | 0.1 | 5.1               | 4.1 | 0.1              | 0.1              | 0.14           | 0.09            | 0.4 | 7.2                            | 15.1 | 10.3        | 7.9 |
| IIB21                 | 55-65              | 69                           | 12 | 6  | 3  | 1.5 | 0.1 | 5.1               | 4.2 | 0.1              | 0.1              | 0.16           | 0.05            | 0.4 | 5.4                            | 12.2 | 10.6        | 8.4 |
| IIB22                 | 80-90              | 68                           | 12 | 7  | 4  | 0.9 | -   | 5.1               | 4.2 | 0.1              | 0.1              | 0.20           | 0.07            | 0.4 | 5.4                            | 12.1 | 10.7        | 8.4 |
| IIIC                  | 105-115            | 68                           | 12 | 8  | 4  | 0.2 | -   | 5.3               | 4.0 | 0.4              | 0.4              | 0.55           | 0.10            | 1.5 | 14.4                           | 23.6 | 8.7         | 4.5 |
| IIIC                  | 140-150            | 67                           | 15 | 10 | 4  | 0.1 | -   | 5.2               | 4.0 | 1.1              | 1.0              | 0.62           | 0.09            | 2.9 | 20.0                           | 27.8 | 7.9         | 3.6 |

(1) a - argila; s - silte; af - areia fina; ag - areia grossa;  
 (2) Horizonte A subdividido arbitrariamente para fins de amostragem.

Os resultados confirmam, portanto, a ausência de gradiente textural marcado, evidenciando que o solo é ácido e bastante húmifero. Do ponto de vista químico e físico-químico, importantes diferenças são notadas entre o material originário e o solo. O solo é mais rico em ferro, sobretudo ferro livre, e em alumínio amorfo. Sua capacidade de troca é nitidamente mais baixa, sendo as cargas negativas compensadas igualmente por  $H^+$  e  $Al^{3+}$ , enquanto no material original tais cargas, em número muito mais elevado, são compensadas quase que exclusivamente por  $Al^{3+}$ .

#### Os argilo-minerais

*Os sedimentos profundos:* O material original sedimentar, a partir do qual se desenvolveram os solos da região, comporta, quase que exclusivamente, esmectitas, pequenas quantidades de illita e traços de caulinita (Figura 2a).

As esmectitas conservam suas propriedades expansivas ao etileno-glicol desde que, saturadas com lítio, sejam aquecidas a  $300^{\circ}C$ . Trata-se, portanto, de argilo-minerais da série beidelita-nontronita (Robert & Tessier, 1974). Análises térmicas diferenciais mostram uma reação de desidroxilação ao redor de  $560^{\circ}C$  (Figura 2b). São, portanto, mais beidelitas que nontronitas (Mackenzie e Caillère, 1975).

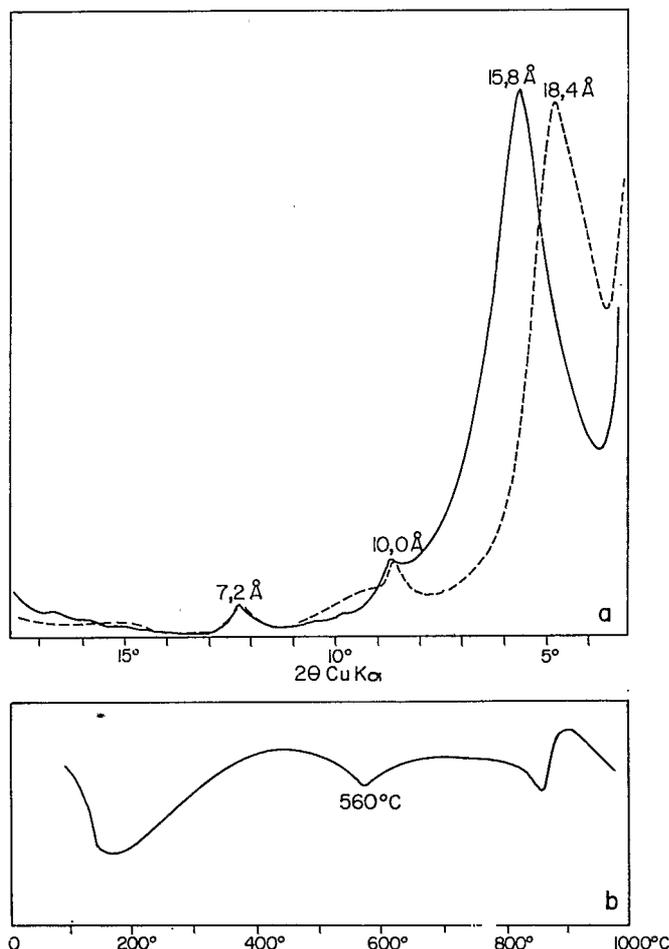


Figura 2. Características das argilas dos sedimentos profundos - a: difratogramas de raios X na argila-Mg orientada, o difratograma em tracejado é da argila tratada com etileno-glicol; b: curva de ATD da argila Mg.

*O material original dos solos:* As frações argilas dos horizontes C são constituídas por uma mistura de argilo-minerais do tipo 1/1, caulinitas e de argilo-minerais 2/1, illitas e esmectitas (Figura 3a). O exame dos difratogramas de raios X indica que o mineral predominante é a illita. A base do pico a  $10\text{Å}$  da illita apresenta grande abertura em direção aos ângulos pequenos. Esse fato é nítido no horizonte C do perfil MPR-4 (Figura 3b), onde se pode notar, mais que um simples alargamento do pico a  $10\text{Å}$ , a presença de uma banda de difração, bem definida entre  $10$  e  $14\text{Å}$ . Nas argilas saturadas com potássio (argila-K), essa banda está deslocada em direção aos pequenos ângulos, comparadas às argilas saturadas com magnésio (argila-Mg); a translação é mais marcada ainda nas argilas-Mg, tratadas com etileno-glicol (Figura 4). Trata-se, portanto, de interestratificados illita-esmectita. O conjunto passa a  $10\text{Å}$  por simples aquecimento a  $110^{\circ}C$ , não havendo, pois nada que impeça o fechamento das camadas hidratadas.

*Os horizontes B2:* Nesses horizontes B2 podem ser caracterizados três tipos de argilo-minerais. Caulinita e illita apresentam picos de difração a  $7,2$  e  $10\text{Å}$ , sensivelmente de mesma intensidade. O pico da illita é, nesse caso, aproximadamente simétrico: nota-se, entretanto, a existência de um pico a  $14\text{Å}$  de pequena intensidade. Tal pico ocorre tanto nas argilas-K, como nas argilas-Mg. Não apresenta expansão ao etileno-glicol e o fechamento para  $10\text{Å}$  por aquecimento se faz progressivamente, sendo total somente a  $550^{\circ}C$ . Na amostra tratada com citrato de sódio, o fechamento total é obtido imediatamente a  $110^{\circ}C$ ; esse mesmo tratamento não provoca o aparecimento de nenhuma propriedade expansiva. Trata-se, portanto, de uma vermiculita cujos espaços interfoliares são fortemente aluminizados. A composição mineralógica dos argilo-minerais de B2 difere daquela do horizonte C. Estudando a passagem de C para B2, constata-se que: a) existe um aumento progressivo na quantidade de caulinita; b) ocorre o desaparecimento dos interestratificados illita-esmectita, e c) há o aparecimento de pequenas quantidades de vermiculitas aluminosas. As camadas esmectíticas desaparecem completamente na base do horizonte B2 e é a partir desse momento que se começa a notar a presença de vermiculita aluminosa cujas proporções crescem progressivamente para cima dentro do horizonte B2. O desenvolvimento de vermiculitas-Al nesse horizonte se faz, como pode ser evidenciado, em detrimento das illitas. Comparando-se, por exemplo, B22 e B21, vê-se nitidamente que o pico a  $14\text{Å}$  da vermiculita aumenta e aquele a  $10\text{Å}$  da illita diminui paralelamente.

*Os horizontes B1 e A:* No perfil com linha de pedras superficial (perfil MPR-5), a passagem do horizonte B21 aos horizontes A não implica, aparentemente, nenhuma modificação mineralógica. O mineral a  $10\text{Å}$  se mantém em proporções muito baixas, sendo a caulinita e a vermiculita aluminosa os dois minerais mais impor-

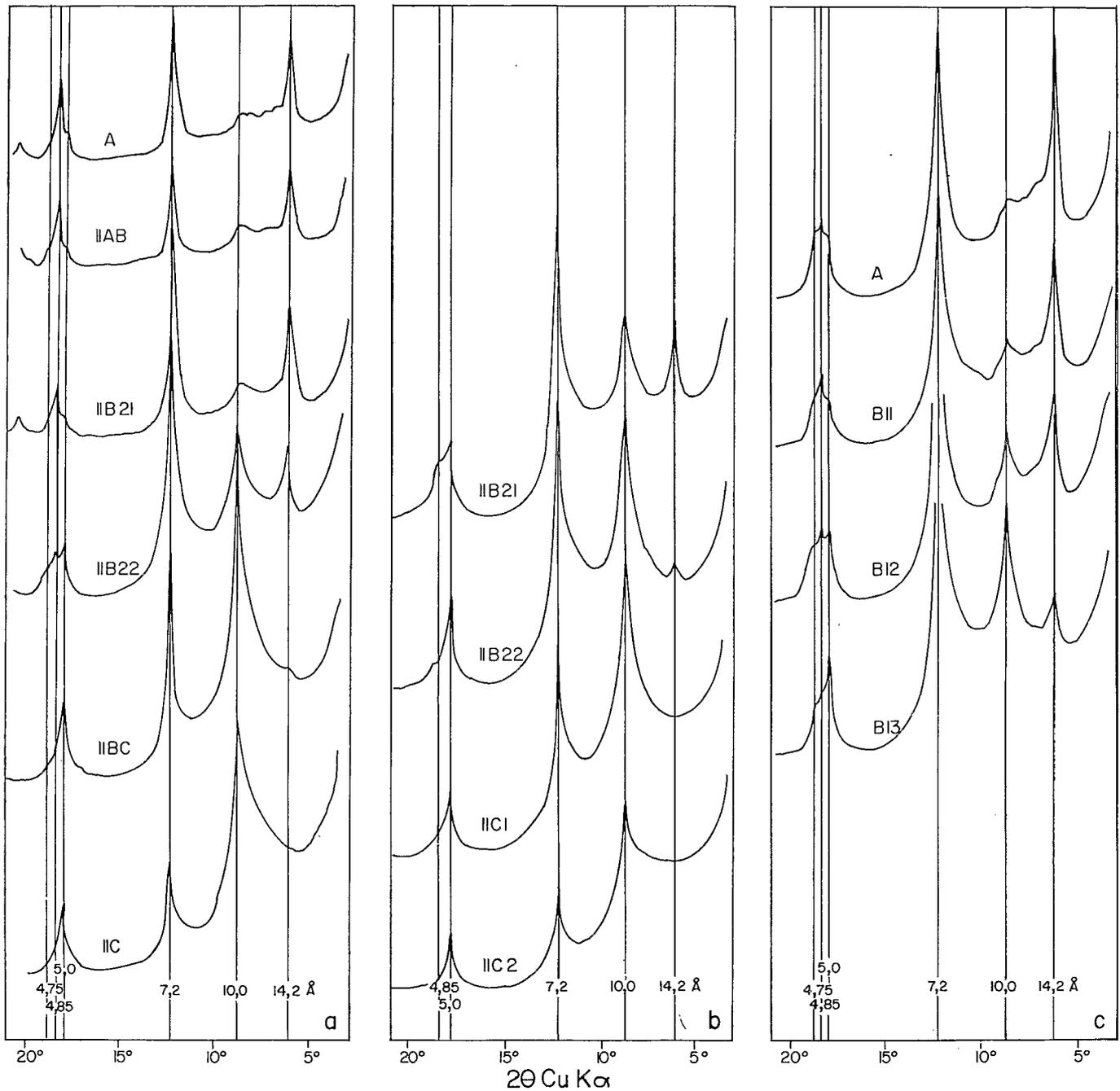


Figura 3. Difractogramas de raios X em argila-K orientada, deferrificada dos principais horizontes - a: perfil MPR-5; b: fácies A do perfil MPR-4; c: fácies B do perfil MPR-4

tantes; os picos a 7 e a 14 Å são quase da mesma intensidade. A vermiculita apresenta as mesmas características que as do horizonte B2. A passagem do horizonte IIA para A não se traduz por nenhuma transformação mineralógica.

Nos solos com linha de pedras profunda (MPR-4-B), verifica-se que nos horizontes acima dessa linha, isto é, B1 e A, as proporções relativas dos argilo-minerais presentes são variáveis. Na passagem do B13 para o B12 ocorre uma diminuição progressiva da illita e um aumento paralelo da vermiculita-Al (Figura 3c). Mais para cima, e no horizonte A, não há mais transforma-

ção. A vermiculita-Al conserva as mesmas características: forte aluminização e fechamento total das camadas para 10 Å, somente quando o aquecimento atinge 550°C (Figura 5).

Os horizontes A são, portanto, sempre caracterizados pela associação caulinita e vermiculita-Al, ambas igualmente representadas. O B1 é, mineralogicamente, um horizonte de transição entre B2 e A e, da mesma maneira que o B21, corresponde a uma etapa de transformação das illitas em vermiculitas-Al. No B1 há predominância das vermiculitas-Al sobre as illitas, relação totalmente invertida da observada no B22.

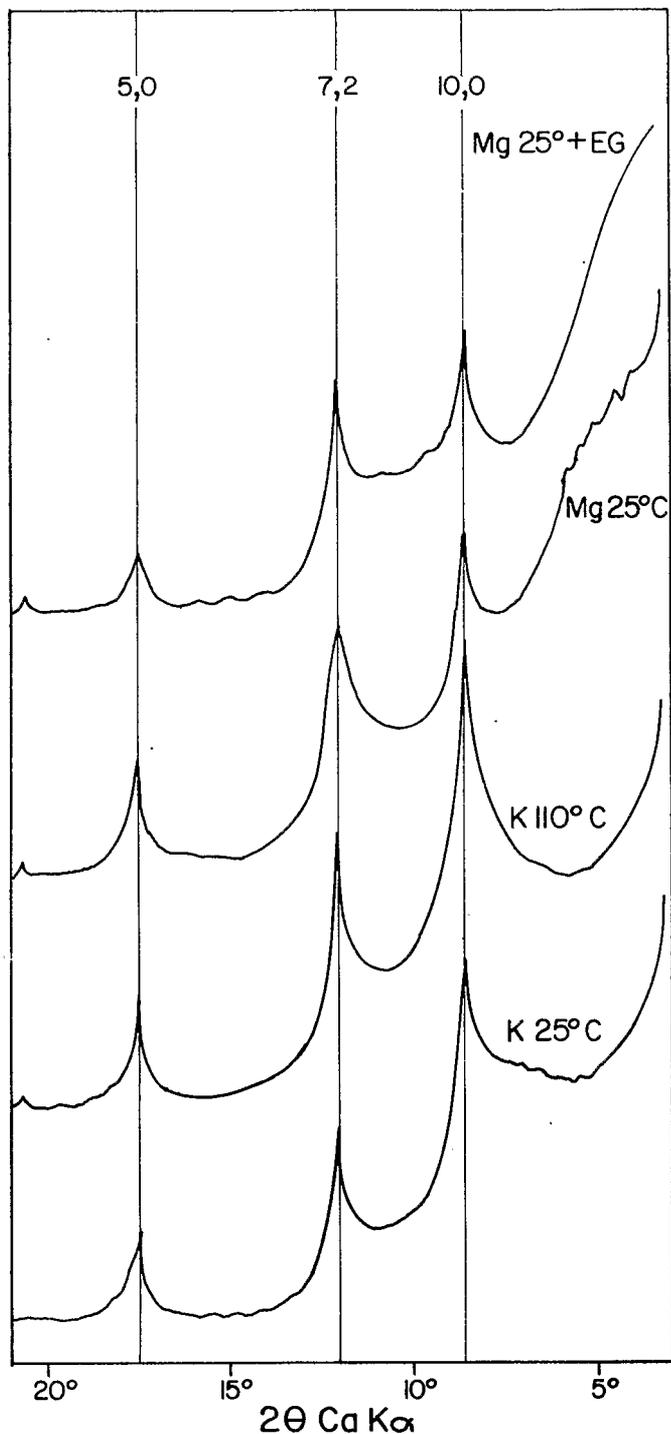


Figura 4. Difratogramas de raios X em argila deferrificada, orientada do horizonte C do perfil MPR-4: K25°, saturada com potássio e seca ao ar; K110°, saturada com potássio e aquecida a 110°C; Mg25°, saturada com magnésio e seca ao ar; Mg25°+EG', saturada com magnésio e tratada com etileno-glicol.

#### Os Hidróxidos de Alumínio e Ferro

A *Gibbsita*: Aos raios X, a gibbsita pode ser identificada, tanto nas lâminas orientadas como nos diagramas de pó, por seu principal pico a 4,85Å. Nos perfis estudados, a gibbsita está sempre associada à vermiculita-Al, sendo que os dois minerais aparecem juntos (Figura 3). O

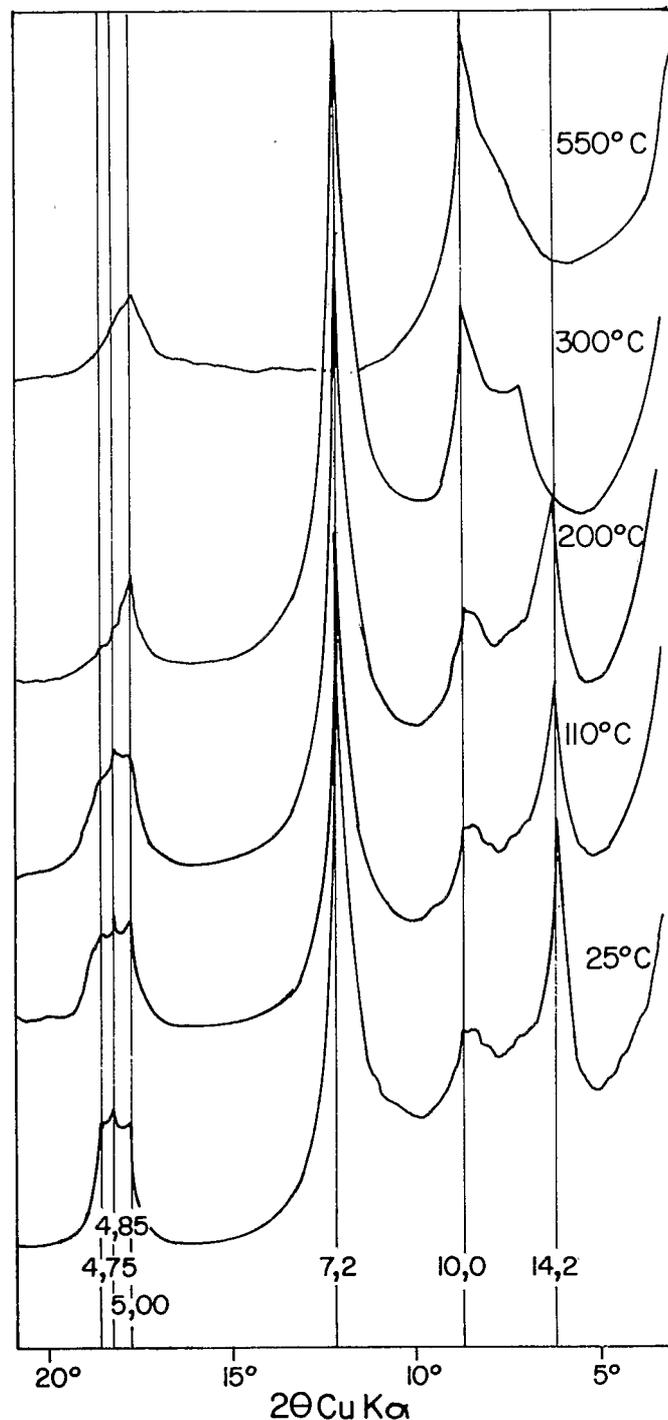


Figura 5. Difratogramas de raios X em argila orientada deferrificada do horizonte AB do perfil MPR-4 saturada com potássio: seca ao ar, 25°C, e aquecida sucessivamente a 110°C, 200°C, 350°C e 550°C.

perfil MPR-5 é rico em gibbsita, enquanto o MPR-4 é bem mais pobre.

A gibbsita é também perfeitamente identificada na análise térmica diferencial, através de seu pico endotérmico a 320°C. A figura 6 mostra não só o aparecimento progressivo da gibbsita, em cada perfil, como também o elevado teor desse mineral no perfil MPR-5. As curvas da ATD, correspondentes às argilas não deferrifica-

das, são mais representativas que aquelas obtidas nas argilas deferrificadas, permitindo melhor observação das variações quantitativas da gibbsita nos perfis. Verificou-se, realmente, uma alteração no pico endotérmico da gibbsita após a deferrificação. Entretanto, a deferrificação permite melhor definição do pico de difração aos raios X da gibbsita, sobretudo quando os teores são baixos.

**Os hidróxidos de ferro:** Os difratogramas de raios X obtidos a partir da fração argila tratada com soda (Figura 7) mostram que, no horizonte C dos perfis, a goethita pode existir, mas dificilmente poderá ser caracterizada. A hematita, identificada por seus picos 2,70 e 2,51Å, é, ao contrário, bem representada. No horizonte B22, a goethita, identificada por seus picos a 4,14, 2,66 e 2,42Å, aparece mais nitidamente, estando associada à hematita. Passando-se de B22 para A, a goethita torna-se mais abundante ainda, enquanto a hematita desaparece progressivamente, não sendo mais reconhecida a partir do horizonte AB, no perfil MPR-5, e do B13, no perfil MPR-4.

Tem-se, portanto, inicialmente, produtos essencialmente hematíticos. Esses produtos se mantêm até o horizonte B2 (horizonte vermelho). A goethita se desenvolve progressivamente

no B2 e torna-se o hidróxido de ferro predominante nos horizontes A e B1. Tal goethita apresenta deslocamento pronunciado de seus picos de difração aos raios X. Este deslocamento para o seu pico d(111) é da ordem de 0,025Å em direção aos ângulos grandes, o que significa que se trata de uma goethita fortemente aluminosa (Norrish & Taylor, 1961). Na análise térmica diferencial, o pico endotérmico de desidroxilação está situado por volta de 390°C.

## DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

O material original dos Rubrozens é provavelmente um material complexo e, pelo menos, sua camada superficial sofreu um retrabalhamento, isto é, um deslocamento ao longo da vertente. A linha de pedras sempre presente, embora pouco expressiva devido à falta de material grosseiro na região, seria a indicação de tal processo.

Estudando as modificações na composição mineralógica das argilas, no material abaixo ou acima da linha de pedras, sendo esta superficial ou profunda, observa-se sempre a mesma sequência de evolução, que não sofre interrupção nem quebra nessa descontinuidade.

Isso mostra que, ao contrário do que afirmaram Lima *et alii* (1977), a composição mineraló-

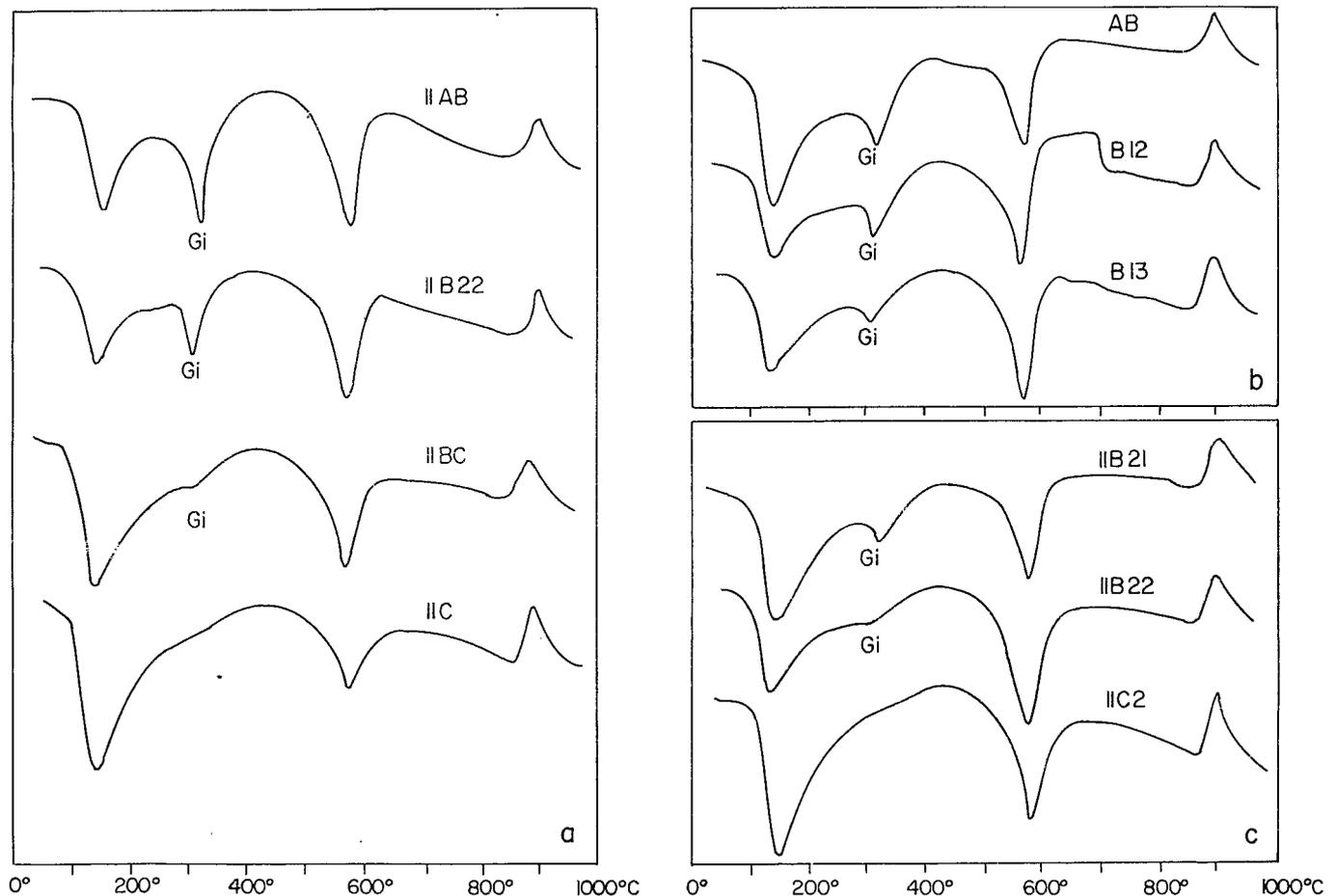


Figura 6. Curvas de ATD de argila dos principais horizontes - a: perfil MPR-5; b: fácies A do perfil MPR-4; c: fácies B do perfil MPR-4

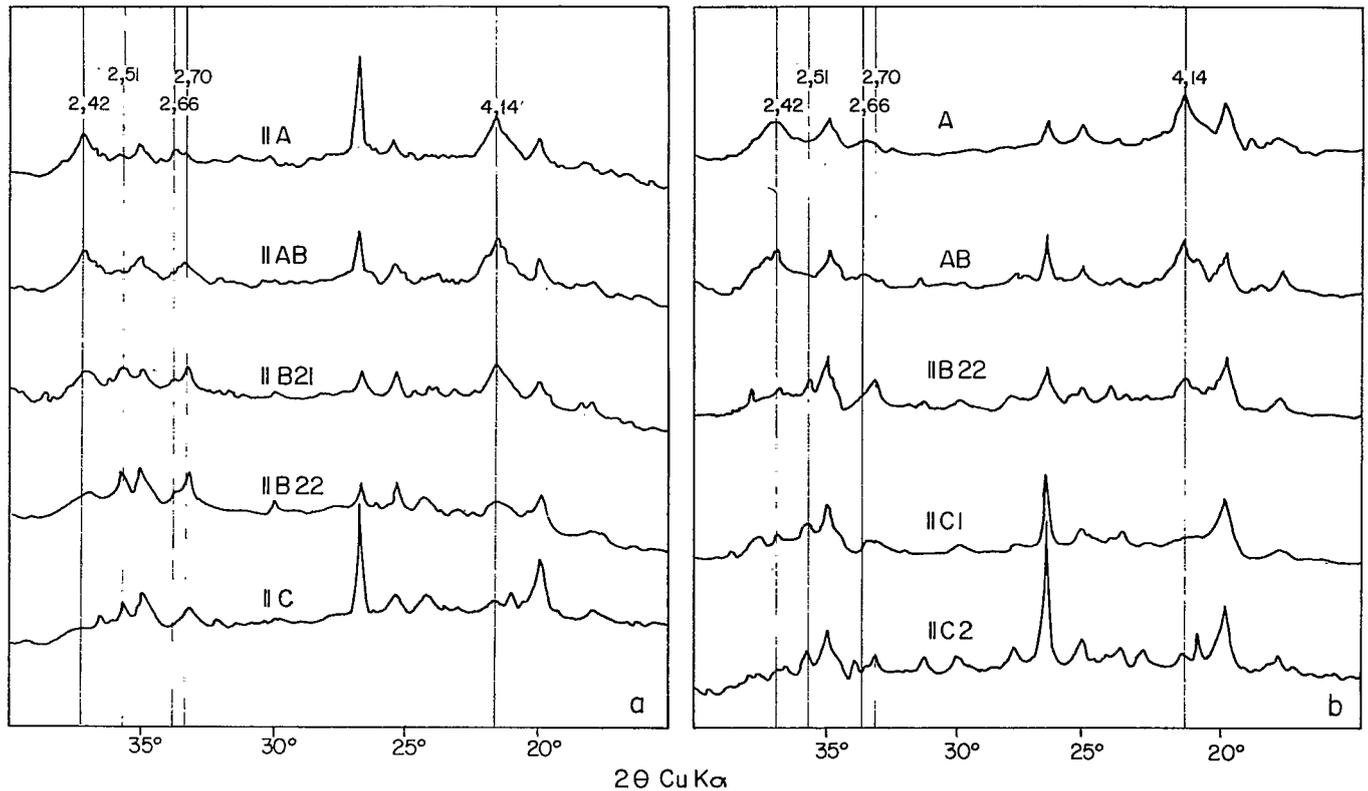


Figura 7. Difratoigramas de raios X da argila tratada com soda, desorientada - a: principais horizontes do perfil MPR-5; b: principais horizontes do perfil MPR-4

gica das argilas nos perfis de Rubrozem não é determinada por variações litológicas. As diferenças entre os horizontes são resultantes de uma evolução condicionada pelo desenvolvimento da pedogênese, não devendo ser atribuídas à superposição de camadas de material de natureza diferente.

Nas condições da bacia sedimentar de Curitiba, ter-se-ia, portanto, a partir de um material essencialmente esmectítico (beidelita), a formação de um solo com um horizonte B2 vermelho com ilita e caulinita, e horizontes A e B1 escuros e brunos, com caulinita, vermiculita e gibbsita. No decorrer da pedogênese, a esmectita, que foi previamente desestabilizada por uma forte acidificação nas camadas subsuperficiais do sedimento, é destruída, havendo conseqüentemente concentração relativa de ilita e, ao mesmo tempo, ao que tudo parece indicar, neossíntese de caulinita. Isso se processa gradativamente, enquanto o perfil apresenta ainda esmectita. Logo que os últimos traços de esmectita são destruídos, aparece a gibbsita e, ao mesmo tempo, uma pequena fração da ilita se transforma em vermiculita aluminosa. Essa evolução, compreendendo formação de gibbsita e aluminização da ilita, se inicia no B2. No horizonte B1 a ilita é total e rapidamente aluminizada, enquanto as proporções de gibbsita aumentam. Os horizontes superficiais do solo são caracterizados pela associação caulinita, vermiculita aluminosa e gibbsita. Tal paragênese resulta de

uma evolução que envolve uma forte dessilicificação.

A evolução observada nos perfis estudados mostra, portanto, que nas condições da bacia sedimentar de Curitiba, a esmectita não é estável, sendo progressivamente destruída; uma parte da sílica é eliminada e outra se junta ao alumínio para sintetizar a caulinita. Quando o meio se encontra desprovido de esmectita, a caulinita torna-se instável, e a sílica continua sendo eliminada, havendo formação de gibbsita. Ao mesmo tempo, uma parte do alumínio, individualizado no processo, penetra nos espaços interfoliares da ilita, dando origem à vermiculita aluminosa.

A hematita, principal mineral de ferro dos horizontes profundos, evolui progressivamente para goethita, desaparecendo totalmente do perfil a partir do horizonte AB.

Trata-se, portanto, de um processo de alteração de uma esmectita sedimentar em caulinita. A caulinita, nas condições de superfície, talvez devido à ação da matéria orgânica, é parcialmente destruída, havendo conseqüentemente a formação de gibbsita. A aluminização superficial dos horizontes A e B1 resulta da alteração em vermiculita aluminosa, ao mesmo tempo que imprime características particulares aos hidróxidos de ferro formados. A goethita que aparece nas camadas superficiais é bastante aluminosa.

## AGRADECIMENTOS

À FAPESP, pela ajuda financeira concedida, ao Dr. J. J. Trescases, pelo fornecimento de amostras de sedimentos da Formação Guabirotuba e, em especial, ao Dr. V. C. Lima, pelo auxílio dispensado no trabalho de campo e orientação na coleta dos perfis.

## LITERATURA CITADA

- BENNEMA, J. - The red and yellow soils of the tropical and sub-tropical uplands. *Soil Sci.*, 95:250-257, 1963.
- BIGARELLA, J. J. & SALAMUNI, R. - Caracteres texturais dos sedimentos da Bacia de Curitiba. Contribuição à geologia regional. *Bol. da Univ. do Paraná, Geologia* n.º 7, 1962. 164p.
- BRAMÃO, D. L. & SIMONSEN, R. W. - Rubrozen - A proposed great soil group. 6<sup>o</sup> Congrès de la Science du Sol, Paris, 1956. p.25-29.
- DUDAL, R. - Definition of soil units for the soil map of the world. FAO, Rome, World Soil Resources reports 33, 1968. 72p.
- EUA, Soil Survey STAFF - Soil Taxonomy. U.S. Department of Agriculture. Soil Conservation Service, Washington, DC, 1975. 754p.
- LIMA, V. C. - Estudo pedológico de perfis de solos do grande grupo Rubrozen da Bacia de Curitiba-PR. Tese de Mestrado, ESALQ, Piracicaba, 1974. 119p. Mimeo.
- LIMA, V. C.; DEMATTÊ, J. L. & MONIZ, A. C. - Mineralogia da argila do Rubrozen (Paleohumult), Bacia de Curitiba, Paraná. *R. bras. Ci. Solo*, 1:81-85, 1977.
- MACKENZIE, R. C. & CAILLÈRE, S. - The thermal characteristics of soil minerals and the use of these characteristics in the qualitative and quantitative determination of clay mineral in soil. *In: GIESEKING, J. E., ed., Soil components, vol. 2. Inorganic Components*, 1975. p.529-571.
- NORRISH, K. & TAYLOR, R. M. - The isomorphous replacement of iron by aluminum in soil goethites. *J. of Soil Sci.*, 12:294-306, 1961.
- ROBERT, M. & TESSIER, D. - Methode de preparation des argiles des sols pour l'etudé mineralogique. *Ann. Agron.*, 25:859-882, 1974.
- SEGALEN, P. - Note sur une méthode de détermination des produits amorphes dans certains sols à hydroxide tropicaux. *Cah. ORSTOM*, 6:105-126, 1968. Série Pédologie.
- SEGALEN, P. - Extration du fer libre des sols à sesquioxides par le méthode De Endredy par irradiation à l'ultraviolet de solutions oxaliques. *Cah. ORSTOM*, 8: 483-496, 1970. Série Pédologie.
- TAVERNIER, R. & SMITH, G. D. - The concept of Brauner (Brown forest soils) in Europe and the United States. *Adv. Agron.* 1957. pp.217-289.

## RELAÇÃO SOLOS GEOMORFOLOGIA EM VÁRZEA DO RIO MOJI-GUAÇU (SP) (1)

A. PEREZ F.º (2), J. L. DONZELLI (2) & I. F. LEPSCH (3)

## RESUMO

Estudou-se a relação solo / geomorfologia de uma várzea de 400ha do rio Moji-Guaçu, em São Paulo. As superfícies geomorfológicas e os solos foram cartografados em detalhe e em 111 locais foram coletadas amostras de solo às profundidades de 0-20cm (horizonte A) e 60-80cm (horizonte B ou Cg) para determinações de laboratório. Foram identificadas cinco superfícies geomorfológicas: uma bordejando a várzea propriamente dita, correspondente a pedimentos, duas a terraços e duas a aluviões recentes.

No pedimento encontrou-se um Latossolo Vermelho-Amarelo, nos terraços, com drenagem boa ou moderada, Latossolo Câmbico e Cambissolo, nas áreas deprimidas, quando junto à encosta, solos Orgânicos e, quando junto ao dique marginal do rio, solos Gleis Húmicos e Gleis Pouco Húmicos. Próximo ao rio, em áreas de deposição mais recente, ocorrem solos Aluviais.

A capacidade de troca (CTC) da argila, relação silte/argila e saturação de bases, da camada 60-80cm, diminui à medida que aumenta a idade das superfícies. Existe variação da velocidade de alteração dessas características: a saturação em bases é a que mais rapidamente decresce com o tempo de formação de solo, seguindo-se a relação silte : argila e a CTC da argila.

## SUMMARY: SOIL-GEOMORPHOLOGY RELATION IN LOWLANDS OF THE MOJI-GUAÇU RIVER - SP.

*Soil geomorphology relations were studied in 400ha of lowlands of the Moji-Guaçu River, São Paulo State. Geomorphic surfaces and soils were mapped and in 111 sites soil samples were taken at the 0-20cm and 60-80cm depth. Five geomorphic surfaces were identified: one is a pediment, two river terraces and two recent alluvium.*

*In the pediment a Latosol (Oxisol) was found, in the terraces Cambic Latosols (Oxisols) and Cambisols (Inceptisols) with clays of low activity, and in the depressed areas, when close to the hill side Organic soils, and when close to the river dique, Low Humic Gley and Humic Gley soils. Close to the river, where are the recent sediment deposits, Aluvial soils occur.*

*Clay cation exchange capacity (CEC), silt/clay ratio and base saturation decrease as surfaces age increases. There is a variation in this rate of change: base saturation is the first to decrease followed by silt/clay ratio and clay CEC.*

(1) Trabalho realizado com auxílio do Convênio FINEP. Recebido para publicação em março de 1980 e aprovado em novembro de 1980.

(2) Seção de Fotointerpretação, Instituto Agronômico, Campinas (SP). Bolsista do CNPq.

(3) Seção de Pedologia, Instituto Agronômico, Campinas (SP).