

ESTUDO DE UMA SEQUÊNCIA DE SOLOS DESENVOLVIDOS
DE ROCHAS BÁSICAS DO SUDOESTE DO
ESTADO DO PARANÁ

JANE MARISA JONASSON COSTA LIMA
Universidade Federal do Paraná

Orientador: JOSÉ LUIZ IORIATTI DEMATTÊ

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade
de São Paulo, para obtenção do título de Mestre
em Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo – Brasil
Novembro de 1979

Ao

Valmiqui e Wagner

D E D I C O

AGRADECIMENTOS

A autora expressa seus agradecimentos ao Prof. *Dr. J.L.I. Demattê* pela orientação recebida.

À Seção de Pedologia do Instituto Agronômico do Estado de São Paulo, nas pessoas do *Dr. J.B. Oliveira* e Geólogo *C.L. Rotta*, pelas análises térmicas diferencial e de raios-X.

Ao Prof. *Dr. G.V. França*, da ESALQ, pela revisão do texto em português e sugestões.

Ao Prof. *Dr. Z.Z. Marcos*, da ESALQ, pela elaboração do texto em inglês e sugestões.

Ao Programa de Educação Agrícola Superior - PEAS que possibilitou a montagem do laboratório no Departamento de Fito-tecnia e Fitossanitarismo da Universidade Federal do Paraná aonde foi realizada a maior parte deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pelas facilidades oferecidas.

Í N D I C E

	Página
1. RESUMO	1
2. INTRODUÇÃO	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	6
3.1. Latossol Bruno	7
3.2. Brunizem Avermelhado	8
3.3. Cambissol	11
3.4. Solos Litólicos	14
4. CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO	17
4.1. Geologia	17
4.2. Clima	24
4.3. Vegetação	26
4.4. Solos	26
5. MÉTODOS	39
5.1. Análise granulométrica	39
5.2. Análises químicas	39
5.3. Análise da fração argila	41

5.3.1.	Preparo das amostras.....	41
5.3.2.	Análise qualitativa	42
5.3.3.	Análise quantitativa	44
5.4.	Análise do Fe, Al e Mn	45
5.4.1.	Análise total	45
5.4.2.	Extração seletiva	45
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
6.1.	Morfologia	47
6.2.	Granulometria	54
6.3.	Características químicas	59
6.4.	Relações moleculares	66
6.5.	Mineralogia da fração argila	70
6.6.	Óxidos de ferro, alumínio e manganês	90
7.	CONCLUSÕES	99
8.	SUMMARY	101
9.	LITERATURA CITADA	104
10.	APÊNDICE	115

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Posição do município de Salgado Filho, geologia do 3º planalto e regiões fisiográficas do Estado do Paraná (adaptado de MAACK, 1968).....	18
Figura 2 - Balanço hídrico anual da localidade de Barracão, segundo Thornthwaite e Mather (HOLZMANN, 1977).....	27
Figura 3 - A) Mapa da área com localização dos perfis, rede de drenagem e superfícies fisiográficas (I e II). B) Corte topográfico mostrando a posição dos perfis no relevo.....	29
Figura 4 - Difratoograma de raios-X da fração argila do horizonte B21 do perfil 4, isenta de caulinita e óxidos de ferro amorfos.....	51
Figura 5 - Variação de algumas características granulométricas e químicas entre os perfis estudados.....	60
ferrificada do horizonte Ap do perfil 1 ...	76

- Figura 7 - Difratoograma de raios-X da fração argila de-
ferrificada do horizonte C do perfil 1..... 77
- Figura 8 - Difratoograma de raios-X da fração argila de-
ferrificada do horizonte Ap do perfil 2..... 78
- Figura 9 - Difratoograma de raios-X da fração argila de-
ferrificada do horizonte (B) do perfil 2.... 79
- Figura 10 - Difratoograma de raios-X da fração argila de-
ferrificada do horizonte C do perfil 2..... 80
- Figura 11 - Difratoograma de raios-X da fração argila de-
ferrificada do horizonte A₁ do perfil 3..... 81
- Figura 12 - Difratoograma de raios-X da fração argila de-
ferrificada do horizonte B₁ do perfil 3..... 82
- Figura 13 - Difratoograma de raios-X da fração argila de-
ferrificada do horizonte B_{22t} do perfil 3.... 83
- Figura 14 - Difratoograma de raios-X da fração argila de-
ferrificada do horizonte Ap do perfil 4..... 84
- Figura 15 - Difratoograma de raios-X da fração argila de-
ferrificada do horizonte B₁ do perfil 4..... 85
- Figura 16 - Difratoograma de raios-X da fração argila de-
ferrificada do horizonte B₂₂ do perfil 4.... 86

Figura 17 - Termogramas da fração argila dos horizontes A dos solos estudados	87
Figura 18 - Difractogramas da fração argila saturada com magnésio e glicolada dos horizontes do per- fil 2.....	88
Figura 19 - Difractograma da fração argila saturada com potássio de horizontes selecionados do per- fil 4	89
Figura 20 - Distribuição em profundidade dos óxidos de Fe, Al e Mn (mg/100 g de solo), argila (%), relações Fe_o/Fe_d e $argila/Fe_d$ nos perfis e 2	96
Figura 21 - Distribuição em profundidade dos óxidos de Fe, Al e Mn (mg/100 g de solo), argila (%), relações Fe_o/Fe_d e $argila/Fe_d$ nos perfis 3 e 4.....	97
Figura 22 - Variação dos teores de Fe e Al nos perfis estudados. a) Fe_d e Al_d ; b) Fe_o e Al_o ; c) Fe_p e Al_p ; d) Fe_t e Al_t ; e) relações Fe_o/Fe_d e Al_o/Al_d (média de cada perfil).....	98

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1 - Precipitação e temperaturas médias mensais do ar da localidade de Barracão, PR.....	25
Quadro 2 - Comparação entre algumas características morfológicas dos solos das superfícies I e II	52
Quadro 3 - Composição granulométrica dos solos estudados	55
Quadro 4 - Principais características químicas dos solos estudados	61
Quadro 5 - Resultados obtidos pela análise do ataque sulfúrico na TFSA e relações moleculares...	67
Quadro 6 - Composição mineralógica estimativa (%) da fração argila isenta de óxidos de ferro livre	72
Quadro 7 - Teores de Fe, Al e Mn extraídos com pirofosfato de sódio (p) oxalato de amônio (o) e ditionito de sódio (d).....	116
Quadro 8 - Relações entre as formas de ferro	118

	Página
Quadro 9 - Relações entre as formas de alumínio...	120
Quadro 10 - Relações entre as formas de manganês...	122

1. RESUMO

Estudaram-se as características morfológicas, granulométricas, químicas, mineralogia da fração argila e os óxidos de Fe, Al e Mn de quatro perfis de solos derivados de rochas básicas e dispostos em uma sequência topográfica no sudoeste do Estado do Paraná. Os principais objetivos foram a caracterização dos solos e o estudo do relacionamento das características pedológicas com a posição que os mesmos ocupam na paisagem.

A área investigada é constituída por duas superfícies fisiográficas distintas: uma, muito dissecada e instável, considerada mais recente, localiza-se na parte mais baixa da sequência em relevo forte ondulado a montanhoso (Superfície I) e a outra, mais estável e antiga, situa-se em posição mais elevada em um relevo suave ondulado (Superfície II).

Constatou-se um relacionamento entre as características pedológicas e a posição dos solos na paisagem. Os solos menos desenvolvidos, classificados como Litólico, Cambissol e Brunizem Avermelhado, estão localizados na Superfície I, enquanto que o solo mais desenvolvido, um Latossolo Bruno, está situado na Superfície II.

A presença de horizonte de subsuperfície em diversos estádios de evolução relaciona-se com o relevo movimentado da superfície mais recente, enquanto que o horizonte B latossólico relaciona-se com o relevo suave ondulado da superfície antiga.

A granulometria indicou que os teores de areia e silte decresceram e os de argila aumentaram no sentido do solo mais desenvolvido, evidenciando intemperismo crescente.

Os solos da superfície mais recente são eutróficos e os altos valores de CTC estão relacionados com a presença de argilo-minerais 2:1, enquanto que na superfície mais antiga o solo é álico e possui baixa CTC em decorrência da predominância de minerais 1:1.

A mineralogia da fração argila demonstrou a predominância de caulinita, material amorfo e montmorilonita nos solos da superfície mais recente e caulinita e material amorfo nos solos da superfície mais antiga.

Baseando-se no teor de caulinita é possível estabelecer uma sequência em ordem crescente de intemperismo para os solos estudados: Litossol → Cambissol → Brunizem Avermelhado → Latossol Bruno.

As formas cristalinas de ferro e alumínio dominaram em direção ao solo mais evoluído.

2. INTRODUÇÃO

No Estado do Paraná, os solos desenvolvidos de rochas eruptivas básicas são muito importantes devido a sua larga distribuição geográfica, aproximadamente 100.000 km², assim como por se constituírem nos principais responsáveis pela expressiva produção agrícola dessa unidade da federação. Contudo, o conhecimento que se tem desses solos ainda é muito pequeno, limitando-se praticamente aos dados de caráter generalizado obtidos dos levantamentos de reconhecimento efetuados por pedólogos do Ministério da Agricultura.

A presente investigação é uma tentativa no sentido de ampliar o conhecimento a respeito dessas terras através do estudo de uma sequência de solos situados no sudoeste do Estado do Paraná, com os seguintes objetivos:

- caracterização morfológica, química, granulométrica;

- estudo mineralógico da fração argila e das formas de Al, Fe e Mn;
- relacionamento das características pedológicas com a posição que os solos ocupam na paisagem.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Segundo as normas do Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS - DNPA, 1975), os solos estudados no presente trabalho foram classificados como Latossol Bruno, Brunizem Avermelhado, Cambissol e Litólico. Com base na bibliografia disponível, procurou-se realizar uma revisão sobre as principais características dessas unidades. Algumas podem se desenvolver de mais de um material de origem (DIVISÃO DE PESQUISA PEDOLÓGICA - DPP, 1973; CENTRO DE PESQUISA PEDOLÓGICA - CPP, 1975; SERVIÇO NACIONAL DE LEVANTAMENTO E CONSERVAÇÃO DE SOLOS - SNLCS, 1977); contudo, limitou-se o apanhado bibliográfico apenas àquelas unidades derivadas de rochas básicas que ocorrem no Brasil.

3.1. Latossol Bruno

Estes solos foram inicialmente constatados no Rio Grande do Sul (DNPA, 1973) e, posteriormente, em Santa Catarina (SUDESUL, 1973) essa unidade foi conceituada como constituída por solos argilosos, medianamente profundos, bem a moderadamente drenados, de coloração vermelha amarelada, sendo o horizonte A de coloração bruno escura. Foram separadas duas unidades que diferem principalmente quanto ao relevo e profundidade: a unidade Vacaria ocorre em relevo suave ondulado e a unidade Erval Grande situa-se em relevo ondulado e é mais profunda.

Morfologicamente os Latossolos Brunos apresentam um horizonte A espesso (até 60 cm) e friável, de coloração bruno amarelada a bruno escura (10 YR e 7,5 YR). A textura é argila pesada e a estrutura granular moderadamente desenvolvida. O horizonte B latossólico é friável e de coloração bruno forte a vermelha amarelada (7,5 YR e 5 YR). A textura é argila e a estrutura pode ser pequena blocos subangulares ou granular com aspecto de maciça pouco coerente e porosa.

Sob o ponto de vista químico são solos ácidos e com baixa saturação de bases (5 a 16%). Podem ser distróficos ou álicos e a saturação com alumínio alcança até 70%. A CTC é inferior a 17 e.mg/100 g de solo, sendo mais elevada no horizonte A devido a presença de carbono com teores até 3%. O

Índice ki está ao redor de 1,9.

A granulometria indica que os teores de argila podem atingir até 83%, a areia até 27% e o silte até 32%. A argila dispersa em água varia entre 1 e 11%.

No que se refere à mineralogia de fração areia constata-se teores de quartzo de até 25%. Com quantidades variáveis apresentam-se a magnetita, concreções ferruginosas, opala e calcedônia.

Segundo KAMPF e KLAMT (1978), a fração argila apresenta dominância de caulinita/haloisita (40%), material amorfo (20%), óxidos livres de ferro (12-15%). Em menor proporção ocorrem argilo-minerais 2:1 e 2:2 (15-20%), assim como gibbsita, quartzo, cristobalita e plagioclásios.

No Estado do Paraná os Latossolos Brunos são conceituados como solos profundos, sequência de horizontes A, B e C pouco diferenciados, de coloração brunada, argilosos e bem drenados (EMBRAPA, 1975). Não foram publicados dados morfológicos ou analíticos. Contudo, as informações disponíveis (EMBRAPA, 1975) indicam que os mesmos podem ser distróficos ou álicos e podem ocorrer em relevo suave ondulado e ondulado.

3.2. Brunizem Avermelhado

De acordo com os levantamentos de solos do

Rio Grande do Sul (DNPA, 1973) e Santa Catarina (SUDESUL, 1973) os Brunizens Avermelhados são conceituados como solos argilosos, medianamente profundos, moderadamente drenados e de coloração bruno avermelhada escura. Nesse estado foram separadas duas unidades, diferindo principalmente quanto ao relevo e profundidade e teor em silte. A unidade Ciríaco ocorre em relevo forte ondulado e a unidade Vila em relevo plano, sendo mais profunda e com maior teor de silte.

Com relação à morfologia, apresentam um horizonte A espesso (até 60 cm) e friável, de coloração bruno avermelhada escura a bruno acinzentado muito escuro. A textura é franco-argilo-siltosa e a estrutura pode ser granular fraca a moderadamente desenvolvida ou em blocos subangulares. O horizonte de subsuperfície é B textural, podendo ser friável ou firme, de coloração vermelho escuro e bruno avermelhado escuro. Apresenta textura argila a argila pesada ou franco argilosa a argila siltosa e a estrutura pode ser em blocos subangulares fortemente desenvolvida ou granular, fraca a moderadamente desenvolvida, revestida por cerosidade forte e abundante.

As características químicas indicam solos ligeiramente ácidos e moderadamente ácidos a neutros e com alta saturação de bases (70 a 85%). A CTC varia entre 17,0 e 24,0 e.mg/100 g de solo e os teores de carbono estão entre 1,0 e 1,7%. O índice ki está normalmente acima de 3,0.

Os teores de argila alcançam até 39%, e a

areia e o silte atingem até 42 e 60%, respectivamente. A argila dispersa em água oscila entre 6 e 35% e os valores mais altos encontram-se no horizonte de subsuperfície.

Na fração areia predomina a magnetita (até 80%). Em quantidades variáveis, ocorre o quartzo, granada, fragmentos de rochas, concreções hematíticas e material verde argiloso.

A mineralogia da fração argila foi investigada por KLAMT e BEATTY (1972), que observaram a predominância de caulinita + haloisita (33%), seguidos por montmorilonita (32%), material amorfo (21%), com teores bem menores de vermiculita (8%).

No Estado do Paraná os Brunizens foram conceituados como solos com horizonte B textural, não hidromórficos, com argila de alta atividade, horizonte A chernozêmico e alta saturação em bases (DNPA, 1972; EMBRAPA, 1975). Observa-se, portanto, diferenças fundamentais entre essa conceituação e a adotada no Rio Grande do Sul (DNPA, 1973), que não faz referência ao tipo de horizonte A e à atividade da argila. Ainda não foram publicados dados morfológicos e analíticos, contudo as informações disponíveis (DNPA, 1972; EMBRAPA, 1975), indicam que os Brunizens ocorrem em relevo forte ondulado e apresentam na superfície e no corpo do solo, calhaus e matacões de formas diversas.

3.3. Cambissol

No Rio Grande do Sul (DNPA, 1973) e Santa Catarina (SUDESUL, 1973) esta unidade foi conceituada como constituída por solos argilosos, profundos, moderadamente drenados, com cores escuras no horizonte superficial e bruno avermelhada a bruno forte nos horizontes inferiores. Foram separadas quatro unidades que diferem principalmente quanto ao relevo e teor de matéria orgânica. A unidade Farroupilha ocorre em relevo ondulado; a unidade Bom Jesus em relevo ondulado e forte ondulado; a unidade Rocinha ocorre em relevo forte ondulado e apresenta teor de carbono elevado (5 a 12% no horizonte superficial); e a unidade Irani ocorre em relevo forte ondulado, ondulado e suave ondulado.

Morfologicamente, os Cambissolos apresentam horizonte A espesso (até 87 cm) e friável, de coloração preta a bruno escuro. A textura é argila e franco argilosa a franco arenosa e a estrutura é granular ou em blocos subangulares fracamente desenvolvida. O horizonte B incipiente (até mais ou menos 240 cm) é friável ou firme, de coloração bruno avermelhado escuro a bruno forte. A textura é argilosa a argila pesada e a estrutura é em blocos subangulares fracamente desenvolvida. Em três unidades (Farroupilha, Bom Jesus e Irani) foi constatada a presença de cerosidade fraca e pouca.

Do ponto de vista químico são solos fortemente ácidos e com saturação de bases baixa (2 a 15%). A CTC apresenta valores entre 14,0 e 45,0 e.mg/100 g de solo no horizonte A, sendo os valores mais elevados devidos ao alto teor de carbono (até 12%). No horizonte B a CTC varia entre 7,0 e 16,0 e.mg/100 g de solo, sendo, portanto, enquadrados como solos com argila de baixa atividade. São álicos e a saturação com alumínio pode alcançar até 94%. O índice *ki está ao redor de 2,5.

A granulometria indica que a argila pode atingir até 64%, a areia 58% e o silte 38%. A argila dispersa em água apresenta teores entre e 41%, sendo os mais elevados encontrados no horizonte B.

Quanto à mineralogia da fração areia, verifica-se que o quartzo apresenta teores até 65% e fragmentos de rocha, até 100%. Em proporções menores apresentam-se fragmentos de opala, magnetita, calcedônia e concreções ferruginosas.

Na bibliografia disponível não foi encontrada nenhuma referência a estudos da fração argila de Cambissolos originários de basalto.

No Estado do Paraná, esta unidade de solo é conceituada como tendo horizonte B câmbico. Apresentam um certo grau de evolução e presença de minerais primários de fácil intemperização. Distinguem-se dos solos com B textural por não

apresentarem acumulação significativa de óxidos, humus ou argila; diferenciam-se dos latossolos por serem geralmente menos profundos, pela presença de minerais facilmente intemperizáveis pela atividade da argila que normalmente é mais elevada e por uma relação silte/argila superior à dos latossolos (DNPA, 1972; EMBRAPA, 1975).

Essa unidade ocorre em relevo forte ondulado e apresenta alta saturação de bases. Os solos possuem horizonte A do tipo chernozêmico, com textura franco-argilosa e estrutura granular fraca a moderada. O horizonte B, medianamente espesso, (75 cm) é friável, com textura argila e estrutura pequena blocos subangulares moderada.

Quimicamente são ligeiramente ácidos, com alta saturação de bases (acima de 60%). Os valores de CTC são superiores a 24 e.mg/100 g de solo e o teor de carbono, acima de 3% no horizonte superficial. O índice k_i é aproximadamente de 2,5.

Com relação à granulometria, verifica-se que os teores de argila alcançam até 46%, a areia até 15% e o silte até 44%. A argila dispersa em água varia entre 6 e 9%.

Quanto à mineralogia da fração areia, não foram publicados dados.

3.4. Solos Litólicos

Nos levantamentos de solos do Rio Grande do Sul (DNPA, 1973) e de Santa Catarina (SUDESUL, 1973) esta unidade foi conceituada como constituída por solos de textura média e argilosa, pouco desenvolvidos, rasos (10 a 40 cm), moderadamente drenados, de coloração escura. Foram separadas em seis unidades que diferem quanto à saturação de bases, textura e relevo. Os Solos Litólicos eutróficos são representados pelas unidades Charrua, que ocorre em relevo montanhoso, e a Pedregal que ocorre em relevo suave ondulado a forte ondulado. Os Solos Litólicos distróficos são representados pela unidade Guassupí que ocorre em relevo forte ondulado. As unidades Caxias, Celulose e Silveiras são álicas, sendo que se situam em relevo forte ondulado e ondulado.

Os Solos Litólicos apresentam horizonte A de espessura variável (até 40 cm) e coloração bruno avermelhado escuro a bruno acinzentado escura. A textura também é variável podendo ser argila, argila siltosa a franco argilosa, franco siltosa, franco arenosa a franco siltosa e franco argilosa. A estrutura é granular fraca a moderadamente desenvolvida e granular fortemente desenvolvida.

São solos ácidos e ligeiramente ácidos a neutros com saturação de bases alta (74 a 85%) a baixa (30%). Po-

dem ser álicos e a saturação com alumínio pode alcançar até 90%. A CTC pode variar entre 9,2 e 17,0 e.mg/100 g de solo nos Solos Litólicos distróficos e entre 16,0 e 45,0 e.mg/100 g de solo nos eutróficos.

Os teores de argila podem atingir até 42%, a areia até 55% e o silte até 58%. A argila dispersa em água apresenta teores que variam entre 12 e 28%.

Na fração areia, o quartzo pode estar presente com quantidades de até 45%. Os fragmentos de rocha são encontrados com teores de até 37%. Com teores variáveis são encontrados concreções ferruginosas, calcedônia e concreções magnéticas.

Em Solos Litólicos do Rio Grande do Sul, KLAMT e BEATTY (1972) observaram a presença de caulinita mais haloisita (49%), vermiculita e montmorilonita (23%) e material amorfo (19%). FARIAS *et alii* (1974) constataram a predominância de caulinita e, secundariamente, encontraram ainda quartzo e cristobalita.

No Estado de São Paulo, MONIZ e CARVALHO (1973) verificaram predominância de caulinita (45%) seguida de alofana e vermiculita.

No Estado do Paraná os Solos Litólicos são conceituados como solos rasos ou muito rasos que apresentam um

horizonte A geralmente chernozêmico. Ocorre, às vezes, um horizonte B muito pouco espesso, em início de formação (DNPA, 1972; EMBRAPA, 1975). São solos com horizonte A de 30 a 40 cm, macio, de coloração vermelho escuro acinzentado, de textura franco argilosa e estrutura granular fraca ou moderadamente desenvolvida. Não foram publicados dados analíticos desta unidade.

Das informações obtidas através da revisão bibliográfica, constatou-se que não há uniformidade na conceituação e nas características das unidades de solos.

4. CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO

4.1. Geologia

A área em estudo está localizada no terceiro planalto paranaense ou planalto de "trapp" do Paraná, que se caracteriza pela grande uniformidade geológica e pela presença de extensos lençóis de lavas de origem vulcânica, conforme ilustra a Figura 1.

Esse planalto basáltico faz parte da Bacia do Paraná sendo constituída por diversos derrames sobrepostos de espessuras variáveis e representa a maior manifestação de vulcanismo conhecida. A área ocupada por esta Bacia é estimada em aproximadamente 1.200.000 km². De acordo com LEINZ *et alii* (1966), pesquisas geocronológicas efetuadas por Amaral *et alii* e Melfi, atribuíram aos basaltos a idade eocretácea.

Esses derrames de lavas de natureza basáltica,

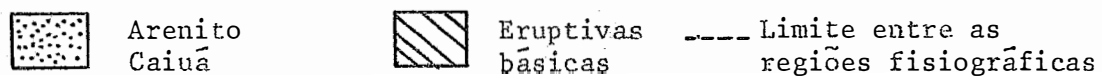
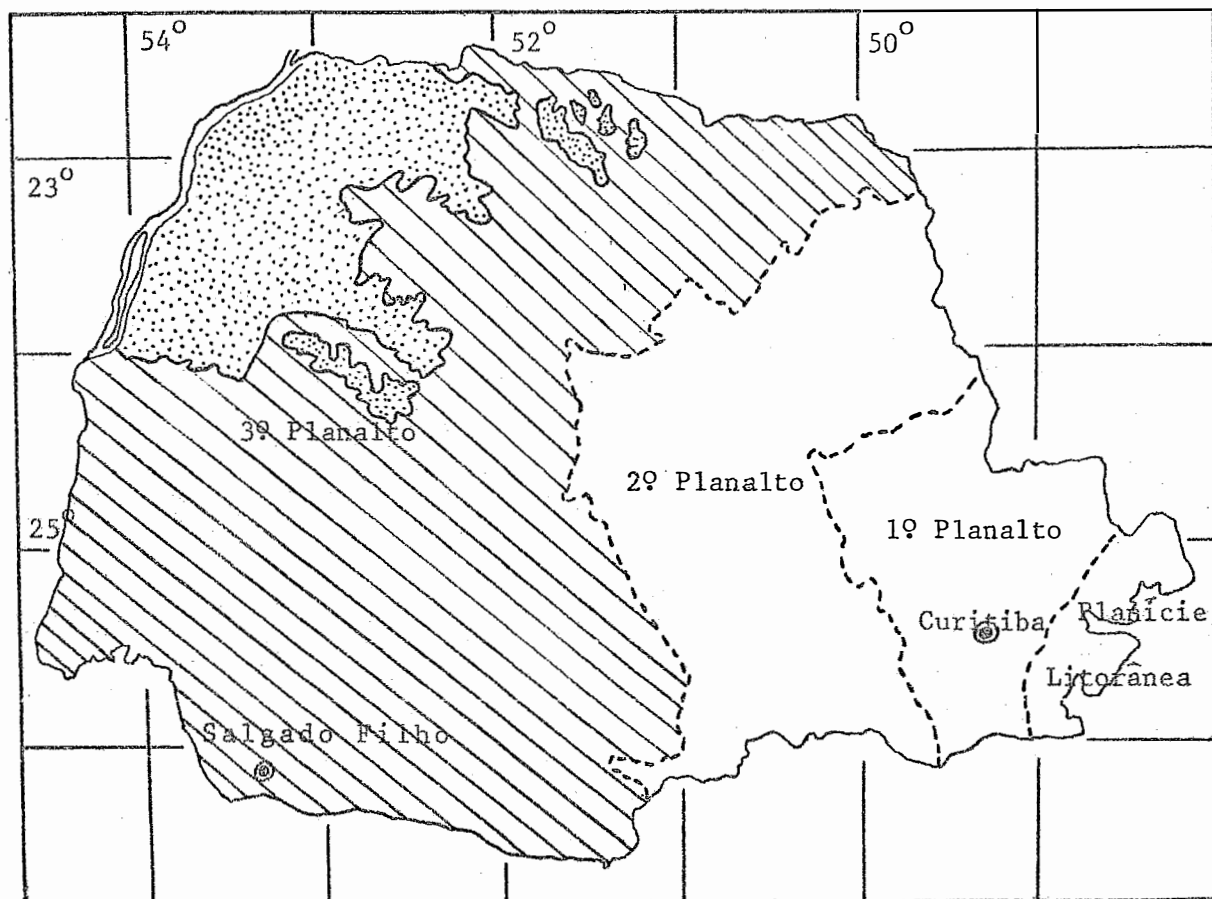


Fig. 1- Posição do Município de Salgado Filho, geologia do 3º planalto e regiões fisiográficas do Estado do Paraná (Adaptado de MAACK, 1968)

associados a arenitos intertrapp, representam a formação Serra Geral (SARTORI *et alii*, 1975).

Os arenitos intertrapp de origem eólica podem ocorrer sob a forma de camadas individualizadas como também se misturarem de várias formas ao basalto (GUIDICINI e CAMPOS, 1968).

A espessura média de cada derrame normalmente oscila em torno de 50 metros, podendo ocorrer, contudo, espessuras de 100 até 130 metros (LEINZ, 1949). Esta observação foi confirmada recentemente por SARTORI *et alii* (1975), na região de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

Diversos autores (LEINZ *et alii*, 1966; CORDANI e VANDOROS, 1971) indicaram como espessura média dos derrames, cerca de 650 metros para toda a Bacia do Paraná.

As maiores espessuras dos derrames, de acordo com LEINZ (1949), foram verificadas no nordeste do Rio Grande do Sul, na divisa com Santa Catarina. Nesta região foram constatados treze derrames com uma espessura total de 1.025 metros.

Utilizando-se como critério para distinção de derrames sucessivos a alternância repetida de estruturas macroscópicas tais como diaclasamentos, zonas vesiculares, lavas aglomeráticas e intercalações de arenitos, LEINZ *et alii* (1966) constataram no Rio Grande do Sul a presença de oito a nove

derrames. No entanto, os citados autores consideram esse critério um tanto discutível, principalmente pelo fato de poderem ocorrer derrames rápidos e sucessivos, que se comportariam no seu conjunto como uma única corrida de lava.

Na região de Santa Maria, no Rio Grande do Sul, LEINZ (1949), confirmou a existência de, no mínimo, oito derrames e sete intercalações de arenitos. A espessura das camadas de arenitos varia de 0,30 a 7,0 metros.

Refazendo estudos ao longo das encostas da Serra Geral, SARTORI *et alii* (1975) constataram, na região de Santa Maria - RS, a ocorrência de quatro derrames de lavas e três camadas de arenitos intertrapp.

ALMEIDA (1956) afirma que na parte norte da Bacia do Paraná as espessuras conhecidas das lavas são mais reduzidas que no setor sul, e mais contínuas e espessas as intercalações de arenito nos derrames. As formas de relevo são geralmente suavizadas, ao passo que no sul são menos uniformes; são maiores as amplitudes de relevo e mais encaixados os seus vales.

Com relação à morfogênese dos derrames, GUIDICINI e CAMPOS (1968) afirmaram que cada derrame basáltico pode ser dividido em três seções distintas; a porção basal, a porção central e a porção superficial.

a. Porção basal

Esta parte basal tem uma tendência à subdivisão segundo lâminas sobrepostas, delimitadas por intenso fissuramento no plano horizontal. Este plano é ressaltado pela presença de pequenos veios de calcita preenchendo os espaços vazios. Frequentemente, nota-se nesta porção basal dos derrames uma delgada faixa de basalto vesicular ou vesículo-amigdaloidal. Sua presença deve-se à rápida solidificação da lava, em contato com a superfície do fluxo.

b. Porção central

Nesta faixa, o resfriamento mais lento ocasiona o aparecimento de uma rocha compacta, microcristalina com presenças, às vezes, de fenocristais. O diaclasamento de contração tem andamento predominantemente vertical dando a rocha o típico aspecto pseudo-colunar. Esse diaclasamento ocorre geralmente em derrame cuja espessura seja superior a 15,0 metros. Esta porção central ocupa cerca de 2/3 da espessura total do derrame e sua cor varia de cinza escuro a preto.

c. Porção superficial

Caracteriza-se pela presença de elevado número de pequenas cavidades, ora vazias (vesículas), ora preenchidas

por minerais de deposição secundária (amígdalas).

Dentro desta faixa vesicular superficial distinguem-se dois horizontes superpostos: um inferior, com grandes amígdalas ou geodos, que alcançam dimensões, às vezes, superiores a 1,0 metro e, outro superior, em que as cavidades possuem dimensões centimétricas ou milimétricas.

A presença das vesículas nesta faixa superficial está relacionada com o rápido resfriamento da lava em contato com a atmosfera.

A espessura da faixa vesicular é muito variável relacionando-se com a espessura do derrame. Em derrames de 6,0 a 8,0 metros toda a seção é constituída por basalto vesicular, com absoluta ausência do termo compacto. Em condições normais limita-se à terça ou quarta parte superficial. Segundo LEINZ *et alii* (1966), essas faixas podem atingir espessuras de até 20,0 metros.

No tocante à petrografia, SCHNEIDER (1970) relatou que as rochas basálticas da Bacia do Paraná são, em sua maioria, basaltos normais nos quais o teor de anortita dos plagioclásios é superior a 50%. Em diversas amostras, no entanto, a andesina aparece como plagioclásio dominante e, conseqüentemente, essas rochas podem ser classificadas como andesina basalto. Foram encontradas, rochas de composição mista, que podem ser classificadas como tufos ou brechas vulcânicas.

Na região de Santa Maria - RS, as rochas vulcânicas são constituídas por basaltos normais e melanocráticos no primeiro derrame; basalto normal, andesito e melabasalto no segundo derrame; basalto normal, melabasalto e andesito no terceiro derrame; e predominância de basalto silicificado no quarto derrame (SARTORI *et alii*, 1975).

Com relação à mineralogia, GUIDICINI e CAMPOS (1968), baseados nas alternâncias texturais dos derrames, propuseram a seguinte divisão para cada derrame: basalto compacto e vesicular ou amigdaloidal de topo e base.

O basalto compacto caracteriza a faixa central do derrame. Mineralogicamente é constituído por feldspato plagioclásio (labradorita), piroxênio (augita), magnetita, magnetilmenita e quantidades variáveis de matéria vítrea. A olivina raramente está presente.

O basalto vesicular, de topo e base, possui a mesma constituição mineralógica do basalto compacto, porém com maior incidência de matéria vítrea. Nas vesículas são encontrados minerais secundários de deposição como calcedônia, calcita, quartzo, zeólitas, nontronita e outros.

Trabalhos efetuados por SCHNEIDER (1970), no trecho Foz do Iguaçu-Serra da Esperança, no Paraná, SARTORI *et alii* (1975), em Santa Maria - RS, e CORDANI e VANDOROS (1971), em vários locais da Bacia do Paraná, indicaram que, mineralogicamente,

amente, as rochas vulcânicas são constituídas essencialmente por plagioclásios e piroxênios. Além desses minerais, eventualmente estão presentes também a magnetita, ilmenita, olivina, anfibólios e biotita.

4.2. Clima

O clima da área em estudo é mesotérmico, superúmido, sem estação seca e com temperatura média para os meses mais quentes e mais frios inferiores a 22 e 18°C, respectivamente. De acordo com a classificação de Koeppen, essas características se enquadram no tipo climático Cfb ou subtropical superúmido.

Os dados de precipitação, temperatura e evaporação potencial apresentadas no Quadro 1, foram obtidos da localidade de Barracão, próxima da área estudada.

A temperatura do ar oscila em torno de 12,4 a 13,9°C nos meses mais frios e de 20,3 a 21,2°C nos meses mais quentes, revelando uma amplitude de variação de 7 a 10°C, o que acentua o caráter subtropical da área. A temperatura média anual do ar é de 17°C.

A precipitação média anual é de 2.014 mm, ocorrendo uma distribuição relativamente uniforme durante todo o ano.

Quadro 1 - Precipitação e temperaturas médias mensais do ar da localidade de Barracão - Período de 1960/1974 (HOLZMANN, 1977).

MÊS	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITAÇÃO (mm)
janeiro	21,2	177
fevereiro	21,1	184
março	19,8	137
abril	17,0	150
maio	13,9	137
junho	12,5	193
julho	12,4	134
agosto	13,9	172
setembro	15,5	200
outubro	17,3	198
novembro	18,9	130
dezembro	20,3	202
ANO	17,0	2.014

O balanço hídrico representado na Fig. 2 mostra um excedente hídrico de 1.212 mm, não ocorrendo deficiência hídrica.

4.3. Vegetação

A vegetação original, preservada em alguns locais, é constituída por floresta do tipo subtropical perenifólia. Esta formação vegetal está intimamente relacionada com a boa distribuição pluviométrica no ano.

A floresta subtropical perenifolia caracteriza-se por suas essências serem muito resistentes ao frio. As árvores desta formação vegetal são geralmente de médio porte e de folhas pequenas. Devido à intensa exploração de suas espécies, a floresta primitiva está desaparecendo, cedendo lugar à agricultura ou a uma vegetação secundária de restrito valor econômico. Economicamente, o pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia*, Bert. O. Kuntz) é a principal espécie na formação subtropical (EMBRAPA, 1975).

4.4. Solos

Os solos em estudo são derivados de basalto e estão dispostos segundo uma sequência topográfica localizada no município de Salgado Filho, no sudoeste do Estado do Paraná,

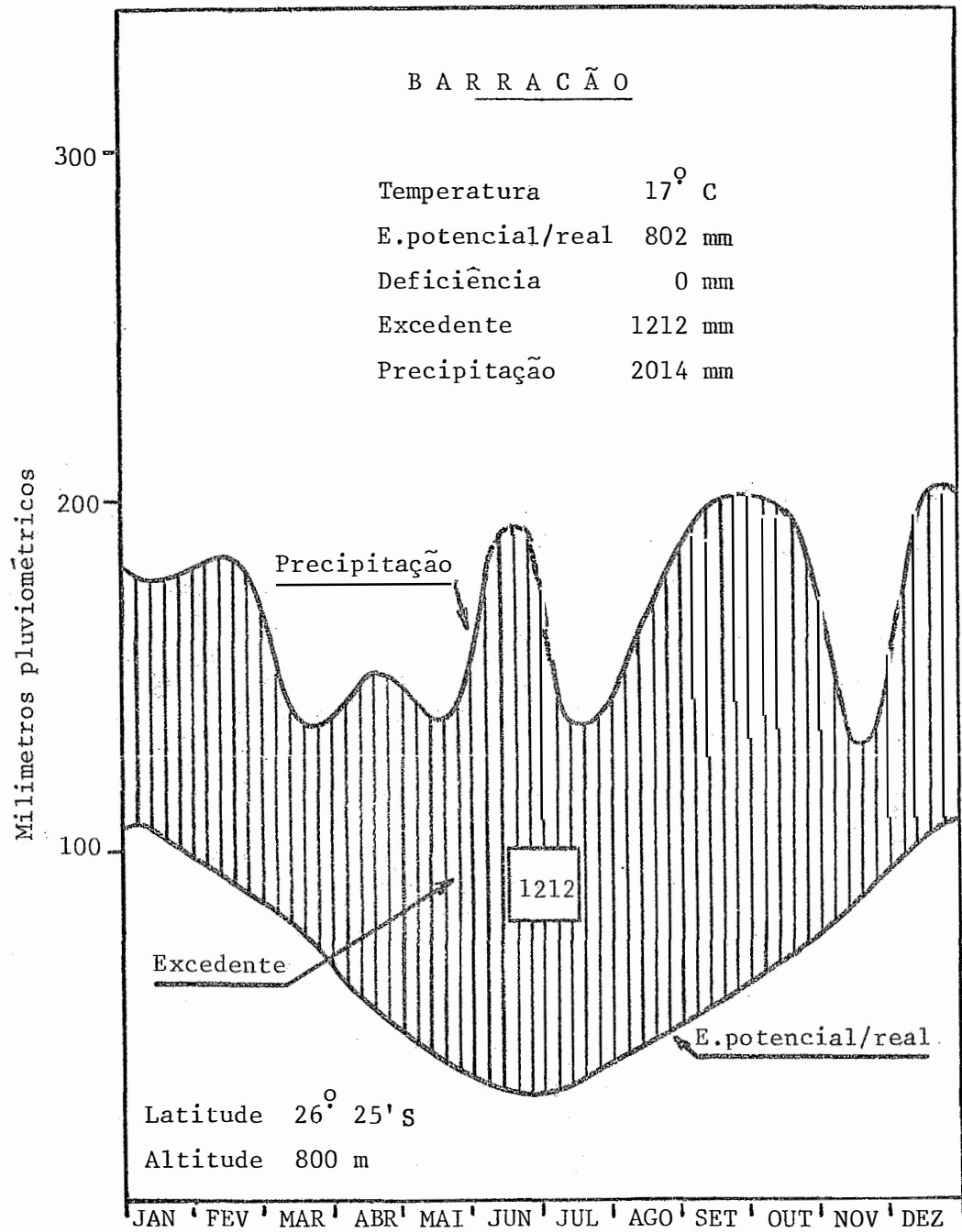


Figura 2 - Balanço hídrico anual da localidade de Barração, segundo Thornthwaite e Mather (HOLZMANN, 1977).

conforme ilustra a Fig. 3B.

Na topossequência selecionada distinguem-se pelo menos duas superfícies fisiográficas, cuja separação foi feita com base nos critérios estabelecidos por DANIELS *et alii* (1971), as quais também estão representadas na Fig. 3A.

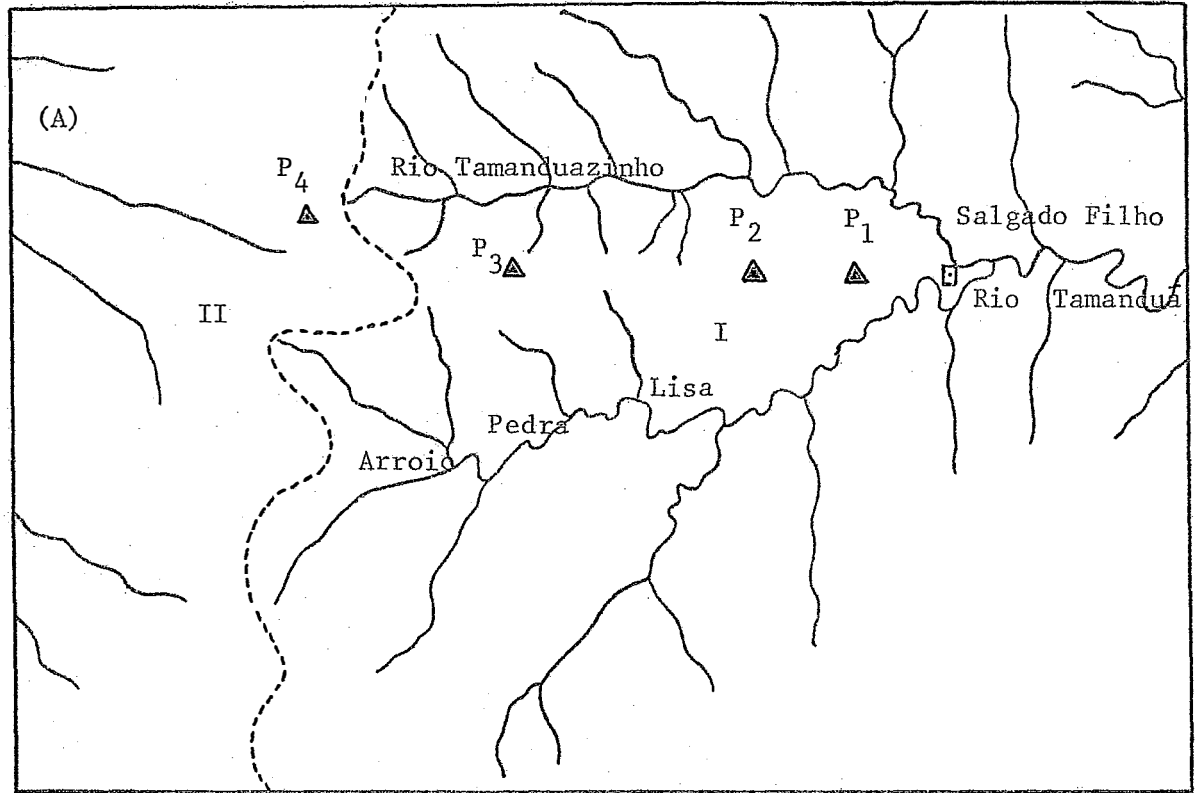
A superfície I é a mais recente e instável. Apresenta um relevo movimentado, com uma declividade variando entre 30 e 50%, sendo acentuadamente dissecada. Nesta área estão localizados os solos representados pelos perfis 1, 2 e 3.

O perfil 1 - Solo Litólico - está localizado na parte mais baixa da superfície I, a 640 metros de altitude em um relevo forte ondulado a montanhoso. É um solo raso, com sequência de horizontes A-C-R.

O perfil 2 - Cambissol - está situado a 720 metros de altitude, em relevo forte ondulado/montanhoso. Possui sequência de horizontes A-(B)-C e coloração bruno avermelhado escuro.

O perfil 3 - Brunizem Avermelhado - situa-se a 800 metros de altitude, em relevo forte ondulado / montanhoso. Tem sequência de horizontes A-B-C e possui horizonte B textural com estrutura subangular revestida por cerosidade forte e abundante.

A superfície II é considerada a mais antiga e



△ Localização dos perfis

--- Limites de superfícies

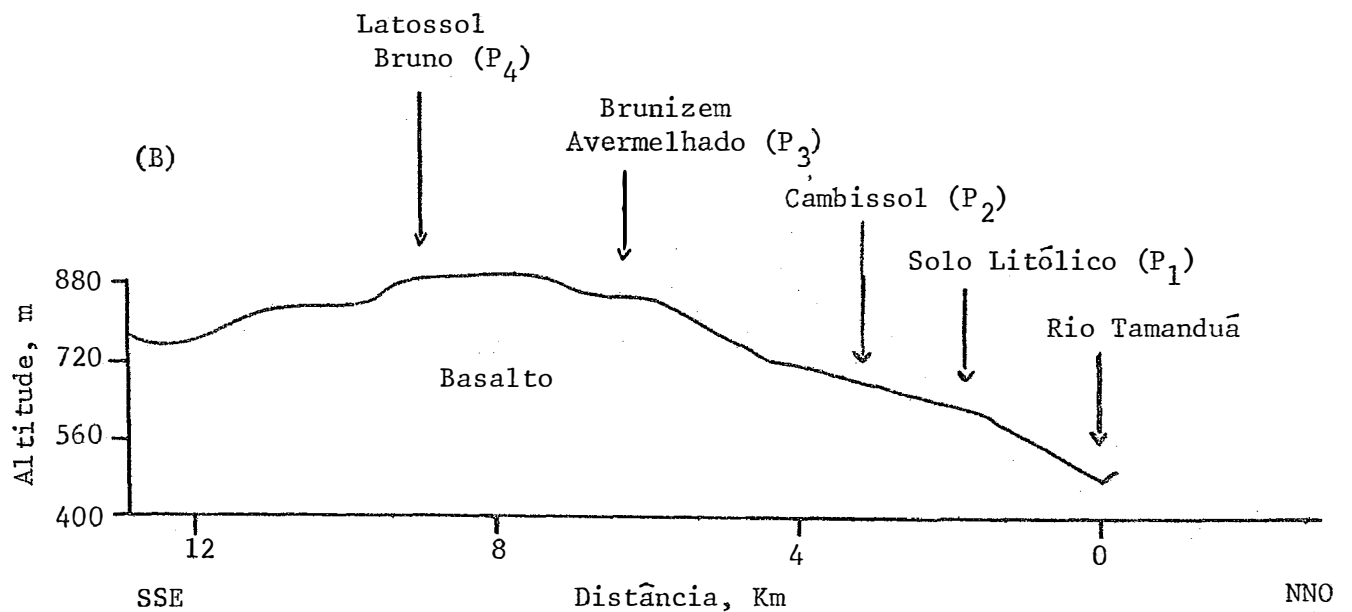


Figura 3 - A) Mapa da área com localização dos perfis, rede de drenagem e superfícies fisiográficas (I e II). B) Corte topográfico mostrando a posição dos perfis no relevo.

estável e está localizada na parte superior da sequência, em um relevo plano e suave ondulado, com declividade inferior a 5%. Nesta superfície são encontrados solos profundos, bem drenados e argilosos, dos quais o perfil 4 é representativo.

O perfil 4 - Latossol Bruno - está localizado na parte mais elevada da sequência, a 880 metros de altitude, em relevo suave ondulado. É um solo profundo com horizontes pouco diferenciados.

São apresentadas a seguir as descrições morfológicas dos perfis, realizadas segundo as normas da SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (1973):

Perfil 1

Classificação: Solo Litólico eutrófico com horizonte A chernozêmico textura argilosa pedregosa fase floresta subtropical perenifólia relevo forte ondulado substrato rochas eruptivas básicas.

Localização: a 700 m de Salgado Filho para Flor da Serra-PR.

Situação e Declive: Trincheira aberta na mela encosta inferior de uma elevação, com 40-50% de declive.

Formação Geológica

e Litologia: Formação Serra Geral. Rochas eruptivas básicas.

Material Originário: Basalto amigdaloidal.

Relevo: Local: ondulado a forte ondulado.

Regional: forte ondulado e montanhoso.

Altitude: 640 metros.

Drenagem: Bem drenado.

Erosão: Laminar moderada.

Vegetação Natural: Floresta subtropical perenifólia.

Clima: Cfb.

Uso Atual: Lavoura de milho.

Ap 0 - 35 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 3/2, úmido); argila; fraca média granular e fraca pequena blocos subangulares; poros pequenos a grandes, comuns; macio, friável, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.

C 35 - 70 cm; Rocha em decomposição.

R 70 cm⁺.

Raízes : abundantes no Ap, comuns no C.

Perfil 2

<i>Classificação:</i>	Cambissol eutrófico com horizonte A chernozêmico textura argilosa pedregosa fase floresta sub-tropical perenifólia relevo forte ondulado substrato rochas eruptivas básicas.
<i>Localização:</i>	Município de Salgado Filho. A 1,5 km da cidade para Flor da Serra - PR.
<i>Situação e Declive:</i>	Terço superior de elevação com 30-40% de declive.
<i>Formação Geológica e Litologia:</i>	Formação Serra Geral. Rochas eruptivas básicas.
<i>Material Originário:</i>	Saprólito das rochas acima citadas.
<i>Relevo:</i>	Forte ondulado/montanhoso.
<i>Altitude:</i>	720 metros.
<i>Drenagem:</i>	Bem drenado.
<i>Erosão:</i>	Laminar forte.
<i>Vegetação Natural:</i>	Floresta subtropical perenifólia.

Clima: Cfb.

Uso Atual: Capoeira.

Ap. 0 - 25 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 3/2, úmido); franco argiloso; fraca moderada pequena granular; poros pequenos e comuns; macio, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição clara e plana.

(B) 25 - 75 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 3/3; úmido); argila; moderada pequena subangular; poros pequenos e comuns; macio, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

C 75 - 120 cm; bruno (5 YR 5/3, úmido), este horizonte é constituído por cascalhos e calhaus parcialmente intemperizados, de coloração bruna em mistura com material de solo semelhante ao (B).

R 120 cm⁺; rocha viva, não intemperizada.

Raízes: Abundantes no A e comuns no (B) e no C.

Observações: Grande quantidade de cascalhos e calhaus em todo o perfil, principalmente nos horizontes (B) e C.

Perfil 3

<i>Classificação:</i>	Brunizem avermelhado textura argilosa fase floresta sub-tropical perenifólia relevo forte ondulado.
<i>Localização:</i>	A 5.600 metros de Salgado Filho para Flor da Serra - PR.
<i>Situação e Declive:</i>	Trincheira aberta à meia encosta de uma elevação com 30% de declive.
<i>Formação Geológica e Litologia:</i>	Formação Serra Geral. Rochas eruptivas básicas.
<i>Material Originário:</i>	Basalto amigdaloidal.
<i>Relevo:</i>	Forte ondulado e montanhoso.
<i>Altitude:</i>	800 metros.
<i>Drenagem:</i>	Bem drenado.
<i>Erosão:</i>	Laminar moderada.
<i>Vegetação Natural:</i>	Floresta subtropical perenifólia.
<i>Clima:</i>	Cfb.
<i>Uso Atual:</i>	Vegetação secundária, provavelmente remanescente da floresta primitiva.

- A₁ 0 - 16 cm; vermelho escuro acinzentado (5 YR 3/2, úmido); argila; forte média grande granular; poros pequenos, comuns; macio, firme, plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
- A₃ 16 - 26 cm; vermelho acinzentado (5 YR 3/2,5, úmido); argila; moderada média granular e moderada pequena blocos subangulares; poros pequenos, comuns; macio, firme, muito plástico e muito pegajoso; transição gradual e plana.
- B₁ 26 - 40 cm; bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/3, úmido); muito argiloso; moderada média blocos subangulares; poros pequenos, comuns; cerosidade moderada e comum; duro, firme, muito plástico e muito pegajoso; transição difusa e plana.
- B_{21t} 40 - 77 cm; bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido); muito argiloso; moderada média blocos subangulares; poros pequenos e muito pequenos, comuns; cerosidade moderada e abundante; duro, firme, muito plástico e muito pegajoso; transição difusa e plana.
- B_{22t} 77 - 115 cm; bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido); muito argiloso; forte média blocos

subangulares; poros pequenos comuns, cerosidade forte e abundante; duro, firme, muito plástico e muito pegajoso; transição difusa e plana.

B_{3/c} 115 - 150 cm⁺; bruno avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido); bruno escuro (7,5 YR 4/4, úmido); mistura de solo com material de rocha em de composição.

Raízes: Abundantes no A₁, muitas no A₃, poucas no B₁, B_{21t} e B_{22t}; raras no B_{3/c}.

Perfil 4

Classificação: Latossol Bruno álico com horizonte A proeminente textura argilosa fase floresta subtropical perenifólia relevo suave ondulado.

Localização: Na estrada Marmeleiro-Barracão, 900 m além da entrada para Salgado Filho, a 100 m da margem esquerda da estrada.

Situação e Declive: Trincheira aberta no topo de uma elevação com 5% de declive.

Formação Geológica e Litologia: Formação Serra Geral. Rochas eruptivas básicas.

Material Originário: Saprólito das rochas acima citadas.

Relevo: Local: suave ondulado.

Regional: suave ondulado e ondulado.

Altitude: 880 metros.

Drenagem: Acentuadamente drenado.

Erosão: Não aparente.

Vegetação Natural: Floresta subtropical perenifolia.

Clima: Cfb.

Uso Atual: Milho e soja com mau aspecto.

Ap 0 - 36 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 3/3; úmido); argila; fraca pequena média granular; poros pequenos, comuns; macio, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

A₃ 36 - 76 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 3/3; úmido); argila; fraca média blocos subangulares; poros pequenos, comuns; macio, friável; plástico e pegajoso; transição clara e plana.

- B₁ 76 - 105 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 3/4; úmido); argila, fraca média blocos subangulares; poros pequenos, comuns; macio, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição gradual e plana.
- B₂₁ 105 - 150 cm; vermelho amarelado (5 YR 4/6, úmido); argila; fraca média blocos subangulares; poros pequenos, comuns; macio, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
- B₂₂ 150 - 240 cm⁺; vermelho amarelado (5 YR 4/6; úmido); argila; fraca moderada média blocos subangulares; poros pequenos, comuns; macio, friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa e plana.

Raízes; Muitas no Ap, poucas no A₃ e raras nos demais horizontes.

5. MÉTODOS

5.1. Análise granulométrica

Foram utilizadas 50 g de TFSA e NaOH 0,1 N como agente dispersante. Após agitação por 15 minutos, a suspensão foi transferida através de uma peneira de 0,053 mm de malha para uma proveta de 1.000 ml. A areia retida foi lavada, seca e pesada. A argila foi determinada em separado com o hidrômetro de Bouyoucos. O silte foi quantificado por diferença. A argila dispersa em água foi determinada de maneira semelhante, porém sem o emprego de dispersante (VETTORI, 1969).

5.2. Análises químicas

As análises químicas foram feitas de acordo com as instruções de VETTORI (1969).

a) Carbono orgânico: foi determinado por oxidação do material com bicromato de potássio 0,4 N (método de Tiurin).

b) pH em água e em KCl: foram determinados potenciométricamente utilizando-se relação sólido-líquido 1:2,5. O tempo de contato foi de 30 minutos.

c) Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis: foram extraídos com KCl N. O alumínio foi determinado por titulação com NaOH 0,025 N, usando-se azul de bromotimol como indicador. O cálcio e o magnésio foram determinados pelo EDTA.

d) Acidez trocável (H + Al): foi determinada por extração com acetato de cálcio N, pH 7, titulação com NaOH 0,1 N e fenolftaleína como indicador.

e) Hidrogênio: determinado pela diferença entre acidez trocável e alumínio trocável.

f) Potássio e sódio trocáveis: extraídos com ácido clorídrico 0,05 N e determinados por fotometria de chama.

g) Soma de bases (S): obtida pela soma de cálcio, magnésio, potássio e sódio trocáveis.

h) Capacidade de troca catiônica (CTC): calculada pela soma de S + (H + Al).

i) Porcentagem de saturação de bases (V%): obtida

da pela fórmula: $V = 100.S/CTC$.

j) Saturação em alumínio: calculada através da fórmula: $100.A1/A1 + S$.

k) Ataque sulfúrico: consistiu no ataque de material do solo (2 g de TFSA), com 50 ml de H_2SO_4 ($d = 1,47$). Após fervura por uma hora, o material foi resfriado, diluído e filtrado para balão de 250 ml. No material insolúvel determinou-se SiO_2 e no filtrado Al_2O_3 , Fe_2O_3 e TiO_2 . A partir desses dados foram calculadas as relações moleculares ki e kr.

5.3. Análise da fração argila

5.3.1. Preparo das amostras

A metodologia seguida na preparação das amostras para as análises mineralógicas foi a proposta por JACKSON (1956).

- Eliminação da matéria orgânica e óxidos livres de manganês:

Em copo de Becker foram colocadas 30 gramas de TFSA e 200 ml de acetato de sódio 1 N, pH 5, e aquecidos por 30 minutos. Após decantação o sobrenadante foi eliminado. Em seguida foram adicionados 5 ml de água oxigenada 30%. Cessada a reação inicial, repetiu-se a operação com aquecimento a $60^{\circ}C$.

Esse tratamento foi repetido até ausência de reação de oxidação.

- Remoção dos óxidos de ferro livres:

Foi realizada pelo método do ditonito-citrato-bicarbonato de sódio (MEHRA e JACKSON, 1960). O ditonito atua como agente redutor, o citrato como complexante e o bicarbonato como tampão. A remoção foi realizada a 70-80°C, em 5 gramas de solo, utilizando-se 40 ml de solução de citrato de sódio 0,3 M, 5 ml de bicarbonato de sódio 1 M e uma grama de ditonito de sódio. Esse tratamento foi repetido até as amostras apresentarem coloração clara.

- Separação da fração argila:

Após a remoção dos óxidos de ferro, as amostras foram tratadas com solução de carbonato de sódio 2%, para complementação da dispersão. Em seguida foram transferidas para provetas de 1.000 ml onde a argila foi separada por sifonação a profundidade e intervalos de tempo pré-estabelecidos.

5.3.2. Análise qualitativa

A análise qualitativa foi realizada por difração de raios-X de amostras submetidas ao tratamento anterior e saturadas com potássio, magnésio e etileno-glicol.

- Saturação com potássio e magnésio:

Foi realizada em alíquotas de argila livres de matéria orgânica e óxidos de ferro, por agitação em solução N desses íons e posterior centrifugação.

- Montagem das amostras orientadas:

As alíquotas saturadas com potássio e magnésio foram orientadas preferencialmente em lâminas de vidro com auxílio de uma espátula (HARWARD e THIESEN, 1962). Nas amostras saturadas com magnésio foram adicionadas algumas gotas de etileno-glicol antes da orientação.

- Difração de raios-X:

A análise por difração de raios-X da argila isenta de matéria orgânica e deferrada foi realizada em aparelho equipado com tubo de cobre e filtro de níquel.

Cada amostra foi irradiada no intervalo de 2 a 28 graus 2θ , após os seguintes tratamentos: saturação com potássio, aquecimento a 350 e 550°C e saturada com magnésio e glicolada.

A interpretação dos difratogramas foi feita de acordo com WARSHAW e ROY (1963) e BRINDLEY (1955).

Para detecção dos óxidos de ferro as amostras

de argila apenas isentas de matéria orgânica foram tratadas com NaOH 5 N, por 60 minutos conforme as instruções de NORRISH e TAYLOR (1961) e com oxalato de amônio 0,2 M (MCKEAGUE e DAY, 1966), montadas em lâminas de vidro e irradiadas no intervalo de 2 a 60 graus 2θ com o aparelho equipado com tubo de ferro e filtro de manganês. A interpretação dos difratogramas foi realizada de acordo com SCHWERTMANN e TAYLOR (1977).

5.3.3. Análise quantitativa

A caulinita e a gibbsita foram determinadas por análise térmica diferencial de acordo com DIXON (1966), modificado por MONIZ e JACKSON (1967).

A mica foi determinada pela dosagem de K_2O , após o tratamento da amostra com HF e $HClO_4$, a quente, segundo ALEXIADES e JACKSON (1966).

O material amorfo foi determinado conforme método de ALEXIADES e JACKSON (1966), utilizando-se como agente dissolvente solução 0,5 N de KOH (DUDAS e HARWARD, 1971).

A montmorilonita e vermiculita foram determinadas de acordo com ALEXIADES e JACKSON (1966). A vermiculita com base na fixação de potássio pelas amostras aquecidas a $110^\circ C$, durante a noite. A determinação da montmorilonita foi baseada na capacidade de troca catiônica, medida pelo potássio não fixado e substituído em solução de $NH_4 Cl$ N.

5.4. Análise do Fe, Al e Mn

5.4.1. *Análise total*

Os teores totais de Fe, Al e Mn foram determinados após digestão de amostras de TFSA, moídas, com HF e HClO₄ a quente, de acordo com JACKSON (1958).

5.4.2. *Extração seletiva*

A extração seletiva dos óxidos de Fe, Al e Mn foi realizada em amostras em duplicata de TFSA, empregando-se ditionito de sódio, oxalato de amônio e pirofosfato de sódio.

A extração com ditionito de sódio foi realizada conforme o método de HOLMGREN (1967), com modificações introduzidas por COSTA LIMA (1979). Foram utilizadas 0,5 gramas de TFSA moídas e 100 ml de solução extratora contendo 2 gramas de ditionito de sódio e 20 gramas de citrato de sódio. Após agitação por 24 horas, a solução foi filtrada e no extrato determinado Fe, Al e Mn por absorção atômica.

A extração com oxalato de amônio foi realizada de acordo com as instruções de MCKEAGUE e DAY (1966), com modificações introduzidas por COSTA LIMA (1979). Nesta determinação foram usados 0,2 gramas de TFSA moídas e 10 ml de oxalato ácido de amônio, pH 3. Solução extratora e amostras foram co-

locadas em tubos de centrífuga e agitadas por 4 horas. Desde que a reação é fotossensitiva, tomaram-se os cuidados para evitar exposição à luz. No extrato obtido foram dosados Fe, Al e Mn por absorção atômica.

A extração com pirofosfato de sódio foi feita com base na metodologia descrita por BASCOMB (1968) e MCKEAGUE (1967). Consistiu na agitação por 18 horas de 1 grama de TFSa, moída, em 100 ml de solução de pirofosfato de sódio 0,2 M. Após a agitação adicionaram-se 5 gotas de Superfloc e a suspensão foi centrifugada a 5.000 rpm por 10 minutos. No sobrenadante foram dosados Fe, Al e Mn por absorção atômica.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Morfologia

Inicialmente serão apresentados e discutidos os dados morfológicos obtidos para cada perfil estudado, após o que será feita uma análise comparativa entre os solos situados nas superfícies I e II.

Os perfis 1, 2 e 3, estão localizados na superfície I, considerada a mais recente devido às particularidades que apresenta (Fig. 3A).

O perfil 1 localiza-se na parte mais baixa da sequência. Considerando a pequena profundidade e sequência de horizontes A-C, pode-se enquadrá-lo como um solo raso e pouco evoluído. O desenvolvimento incipiente deste solo está possivelmente relacionado com a sua localização em uma superfície jovem e instável na qual, a declividade acentuada (40-50% de

declive) impossibilita uma eficiente atuação dos processos de formação. A maior perda de água por escoamento lateral favorece os processos erosivos e dificulta o desenvolvimento do solo. Apesar dessas condições adversas, houve a possibilidade da formação de um horizonte superficial relativamente espesso, escuro e rico em matéria orgânica com uma saturação em bases suficientemente alta (Quadro 4) para enquadrá-lo como A chernozêmico (EMBRAPA, 1975).

Por sua vez, o perfil 2 tem profundidade superior a 120 cm, no qual é possível distinguir a presença de um horizonte B em início de formação. A ocorrência neste perfil de um horizonte B incipiente evidencia um estágio de evolução mais avançado que o perfil anterior, embora esteja situado na mesma superfície. Tal fato pode ser explicado pelo perfil 2 estar situado numa declividade menos acentuada (30-40% de declive), de forma a favorecer a atuação dos processos de formação do solo. As características do horizonte A permitem também reconhecê-lo como chernozêmico. O inexpressivo gradiente textural, a ausência de cerosidade e a pequena profundidade sugerem que o horizonte de subsuperfície é um câmbico (EMBRAPA, 1975).

As condições de declividade (30% de declive), mais favoráveis à penetração de água, contribuíram para que o perfil 3 apresentasse um maior desenvolvimento em relação aos perfis anteriores. Este perfil é mais profundo e dotado de um horizonte de subsuperfície bem estruturado e espesso. A presen

sença de cerosidade, moderada a forte e comum a abundante, assim como um nítido acréscimo de argila levam a considerá-lo como um horizonte B textural (EMBRAPA, 1975).

O horizonte A mantém as mesmas características dos perfis anteriores sendo, portanto, chernozêmico.

O perfil 4 está situado na superfície II. O solo representado por este perfil tem uma profundidade acima de 240 cm. A textura ao longo do perfil é argila e não se observa indicação da ocorrência do processo de transporte de colóides em profundidade, pelo menos de forma significativa, devido à ausência de cerosidade. Estas características, aliadas à inexistência de acúmulo de argila e baixa relação silte/argila (Quadro 3), permitem definir o horizonte de subsuperfície como B latossólico (EMBRAPA, 1975). O horizonte de superfície é escuro, espesso e com baixa porcentagem de saturação em bases (Quadro 4) sendo, por conseguinte, um horizonte A proeminente (EMBRAPA, 1975).

Com relação à cor verifica-se que os perfis estudados apresentam um horizonte superficial escuro com matiz 5 YR. As tonalidades e intensidades inferiores a 3 são consideradas como resultado da presença de teores relativamente elevados de carbono (Quadro 4), cuja acumulação é favorecida pelas condições de clima úmido e frio (Figura 2), assim como pela natureza argilosa dos solos. O horizonte B apresenta uma coloração variável com matiz 2,5 YR no perfil 3 e matiz 5 YR nos

perfis 2 e 4. De acordo com as considerações de SCHWERTMANN e TAYLOR (1977) pode-se considerar a cor vermelha do perfil 3 como devida a presença de hematita, enquanto que nos outros perfis deve provavelmente ocorrer uma associação entre este mineral e a goetita. Com a finalidade de esclarecer a coloração 5 YR tomou-se uma amostra do horizonte B₂₁ do perfil 4, da qual separou-se a fração argila. Após a eliminação de matéria orgânica, a amostra de argila sofreu um tratamento com NaOH 5 N para eliminação da caulinita (NORRISH e TAYLOR, 1961). Em seguida realizou-se a eliminação de ferro na forma amorfa (MCKEAGUE e DAY, 1966) com oxalato de amônio 0,2 N. Após a eliminação do ferro amorfo a amostra evidenciou uma coloração avermelhada sugerindo que a coloração inicial (5 YR) era devida ao material eliminado. A análise por difração de raios-X (Fig. 4) indicou a presença de hematita, identificada pelos picos de 2,69, 2,56 e 2,20 Å e de goetita reconhecida pelos espaçamentos de 2,69 e 2,45 Å. É possível, portanto, considerar que a coloração 5 YR é provavelmente o resultado da presença de ferro na forma amorfa, goetita e hematita, possivelmente com predominância deste último mineral. Em solos da Bahia com coloração 5 YR também foram identificados hematita e goetita (VOLKOFF, 1978).

Comparando-se as características morfológicas entre os solos das superfícies I e II verificam-se diferenças consideráveis, conforme mostra o Quadro 2.

Nos solos da superfície I, a presença de

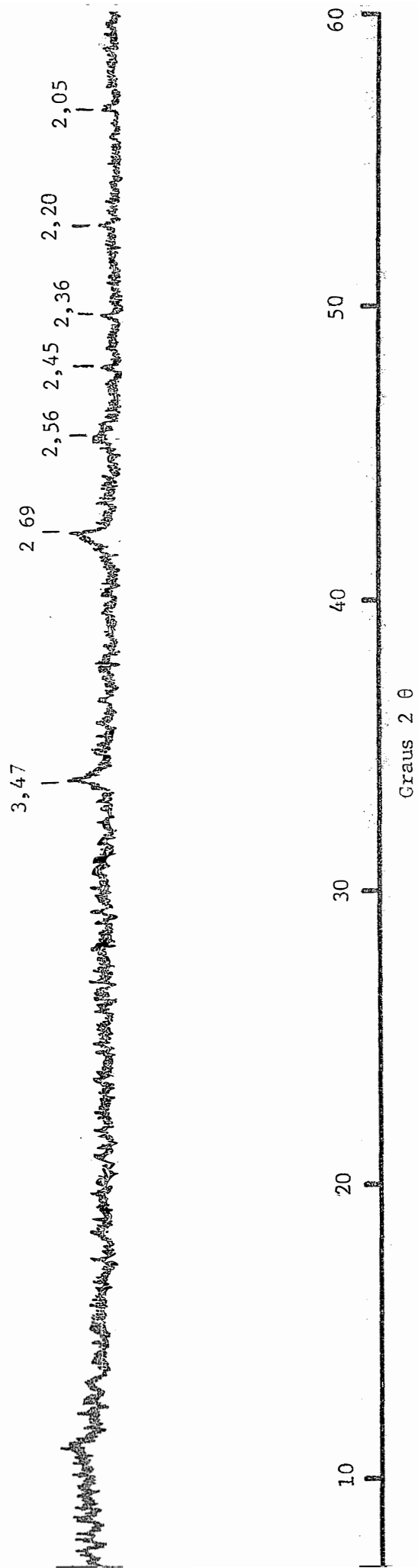


Figura 4 - Difratoograma de raios-X da fração argila do horizonte B₂₁ do perfil 4 isenta de caulinita e óxidos de ferro amorfos.

Quadro 2 - Comparação entre algumas características morfológicas dos solos das Superfícies I e II

Perfil	Superfície fisiográfica	Tipo de Horizonte		Espessura do "solum" (cm)	Horizonte B		Grau de Estrutura
		A	B		Espessura (cm)	Cor	
1	I	Chernozêmico	-	35	-	-	-
2	I	Chernozêmico	Câmbico	75	50	5 YR 3/3	Moderada
3	I	Chernozêmico	Textural	115	89	2,5 YR 3/4	Moderada/ forte
4	II	Proeminente	Latossólico	240 ⁺	164 ⁺	5 YR 4/5	Fraca/ moderada

horizonte chernozêmico é uma constante. Devido a uma enérgica desbasificação o horizonte superficial do solo representativo da superfície I é um A proeminente.

Com relação ao horizonte subsuperficial, nota-se que na superfície recente este horizonte pode não ocorrer, estar incipientemente formado ou constituir um horizonte B textural. Na superfície mais antiga o horizonte de subsuperfície se apresenta com características latossólicas. Situação semelhante foi reportada por LEPSCH e BUOL (1974) em uma sequência de solos no Estado de São Paulo.

No mesmo sentido observa-se, ainda, um maior espessamento do "solum" e do horizonte B, assim como mudanças na sua coloração e grau de desenvolvimento da estrutura. A consistência se torna mais friável, menos plástica e pegajosa, provavelmente ocasionada pela mudança na mineralogia da fração argila.

As diferenças observadas nos solos da superfície I são atribuídas à declividade, condicionando diferentes regimes de infiltração de água e remoção de materiais superficiais.

A maior estabilidade e maior tempo de exposição da superfície II aos agentes de formação do solo são considerados como os principais responsáveis na diferenciação do solo dessa superfície em relação aos solos da superfície I.

6.2. Granulometria

Examinando-se individualmente cada solo, verifica-se que no perfil 1 as frações granulométricas não apresentam variação considerável em profundidade (Quadro 3). A argila é a fração predominante com porcentagens ligeiramente superiores a 40%. Os teores de silte são um pouco inferiores aos teores de argila, enquanto que as porcentagens de areia são baixas e com predomínio de areia grossa. Observa-se que o pequeno acréscimo de areia em superfície implica em um ligeira aumento da fração argila. Isto leva a considerar que no horizonte superficial a argila está sendo enriquecida pelo intemperismo das frações mais grosseiras.

Os resultados obtidos para o perfil 1 demonstram pequena diferenciação granulométrica entre os horizontes A e C, o que pode ser tomado neste caso, como sinal indicativo de um estado incipiente de evolução. A instabilidade da superfície, assim como um curto período de tempo para atuação dos fatores de formação são provavelmente os responsáveis por este fato.

O perfil 2 não mantém a mesma uniformidade do perfil anterior. Sua distribuição granulométrica exibe uma certa variação em profundidade. O conteúdo de argila aumenta de 41% no Ap para 46% no horizonte de subsuperfície, evidenciando um pequeno acúmulo desta fração (Quadro 3). Esta situação re-

Quadro 3 - Composição granulométrica dos solos estudados

HORIZONTES Símbolo Prof. (cm)	Areia		Areia Total	silte	Argila	Argila dispersa em água	% silte % Argila
	Grossa	Fina					
Perfil 1							
<u>Solo Litólico</u>							
Ap	9,0	6,0	15,0	40,0	45,0	24,0	0,9
C	10,0	8,0	18,0	39,0	43,0	00,0	1,4
Perfil 2							
<u>Cambissol</u>							
Ap	7,0	8,0	15,0	44,0	41,0	9,0	1,0
(B)	6,0	9,0	15,0	39,0	46,0	6,0	0,8
C	9,0	16,0	25,0	34,0	41,0	0,0	0,8

continua...

Quadro 3 - Composição granulométrica dos solos estudados

HORIZONTES		Arela Grossa	Arela Fina	Arela Total	Silte	Argila	Argila dispersa em água	% Silte	% Argila	
Símbolo	Prof. (cm)								%	
Perfil 3										
Brunizem Avermelhado										
A1	0 - 16	7,0	5,0	12,0	50,0	38,0	14,0	1,3	1,3	
A3	- 26	7,0	5,0	12,0	50,0	38,0	26,0	1,3	1,3	
B1	- 40	8,0	5,0	13,0	40,0	47,0	37,0	0,8	0,8	
B21t	- 77	5,0	4,0	9,0	33,0	58,0	0,0	0,6	0,6	
B22t	-115	6,0	6,0	12,0	34,0	54,0	0,0	0,6	0,6	
B3/C	-150 ⁺	6,0	8,0	14,0	37,0	49,0	0,0	0,8	0,8	
Perfil 4										
Latossol Bruno										
Ap	- 36	3,0	2,0	5,0	21,0	74,0	33,0	0,3	0,3	
A3	- 76	2,0	1,0	3,0	18,0	79,0	1,0	0,2	0,2	
B1	-105	2,0	1,0	3,0	17,0	80,0	0,0	0,2	0,2	
B21	-150	2,0	1,0	3,0	14,0	83,0	0,0	0,2	0,2	
B22	-240 ⁺	2,0	1,0	3,0	14,0	83,0	0,0	0,2	0,2	

flete, aparentemente, uma reorganização das frações finas no perfil ou formação de argila por intemperismo *in situ*. Provavelmente os dois processos são atuantes, embora ainda não se consiga reconhecer com lupa a presença de cerosidade.

Em relação ao perfil 3, nota-se uma variação mais pronunciada nas características granulométricas quando comparadas com os perfis 1 e 2 (Quadro 3). A fração argila varia de 38% no horizonte Ap a 54% no horizonte B_{22t} e decresce para 49% no B_{3/C}, o que é tomado como evidência de translocação de argila. A ocorrência de um processo de iluviação é confirmada pela presença de cerosidade forte e abundante. O silte é elevado nos horizontes superficiais e decresce em profundidade. De acordo com VAN VAMBEKE (1962), os teores de silte se elevam no sentido do material de origem. Portanto, os teores mais elevados na superfície deste perfil são atribuídos a uma dispersão incompleta devido à ação cimentante da matéria orgânica e sesquióxidos. Esses materiais agregam as partículas de argila fazendo-se passar por silte. Entretanto, nos horizontes inferiores os teores de silte pouco se alteram em comparação com os dos perfis 1 e 2. A fração areia diminuiu em relação aos outros perfis. Isto leva a crer que o aumento da fração argila foi uma função da alteração da areia, uma vez que os teores de silte mantiveram-se praticamente constantes.

A diferenciação granulométrica progressiva nos

perfis da superfície I é considerada como resultante da diversidade de declive em que os mesmos ocorrem, de maneira similar ao que foi verificado em relação às características morfológicas.

A granulometria do perfil 4 mostra que as frações areia e silte decresceram consideravelmente em relação aos perfis da superfície I (Quadro 3). O oposto se verificou com a fração argila, cujos teores aumentaram acentuadamente, atingindo porcentagens superiores a 70%. Considera-se que a elevação dos teores de argila realizou-se pela alteração das demais frações. O silte e a areia mantêm-se praticamente constantes ao longo do perfil de solo. A argila aumentou gradativamente em profundidade. O pequeno gradiente textural e a ausência de cerosidade são condições que confirmam as características latossólicas deste perfil.

A argila dispersa em água, presente nos horizontes superficiais de todos os solos, provavelmente indica um certo relacionamento com os teores de carbono. O fato desta fração apresentar-se com teores relativamente elevados, em horizontes de subsuperfície que apresentam algum acúmulo de argila é, possivelmente, também uma indicação da sua provável relação com argila iluviada, conforme foi sugerido por LEPSCH *et alii* (1977).

Confrontando-se os dados granulométricos dos solos das superfícies I e II, nota-se que ocorreu um decréscimo

no nas frações grosseiras com consequente aumento das frações finas (Fig. 5). Este comportamento é considerado como decorrente da intensificação dos processos de alteração na superfície II, favorecidos por sua estabilidade e idade relativa superiores à superfície I. A relação silte/argila, proposta por VAN WAMBEKE (1962), frequentemente tomada como índice de intemperismo (COMISSÃO DE SOLOS, 1960; QUEIROZ NETO, 1969), confirma aparentemente essas observações.

6.3. Características químicas

Observando-se inicialmente os resultados de soma de bases (Quadro 4), verifica-se que nos perfis da superfície I esta característica apresenta uma variação entre 21 e 28 e.mg/100 g de solo, decrescendo abruptamente para valores inferiores a 1,7 e.mg/100 g do solo no perfil representativo da superfície II. O cálcio e o magnésio são os cátions dominantes em todos os perfis, seguidos por potássio e sódio. Todos mostram uma diminuição em direção à superfície II. Isto leva a considerar que os perfis da superfície I têm suas bases constantemente repostas pelo material de origem. Os baixos valores de soma de bases apresentados pelo perfil da superfície II, embora derivado provavelmente do mesmo material de origem, evidenciam o maior grau de lixiviação deste solo como consequência de sua posição numa superfície estável e antiga.

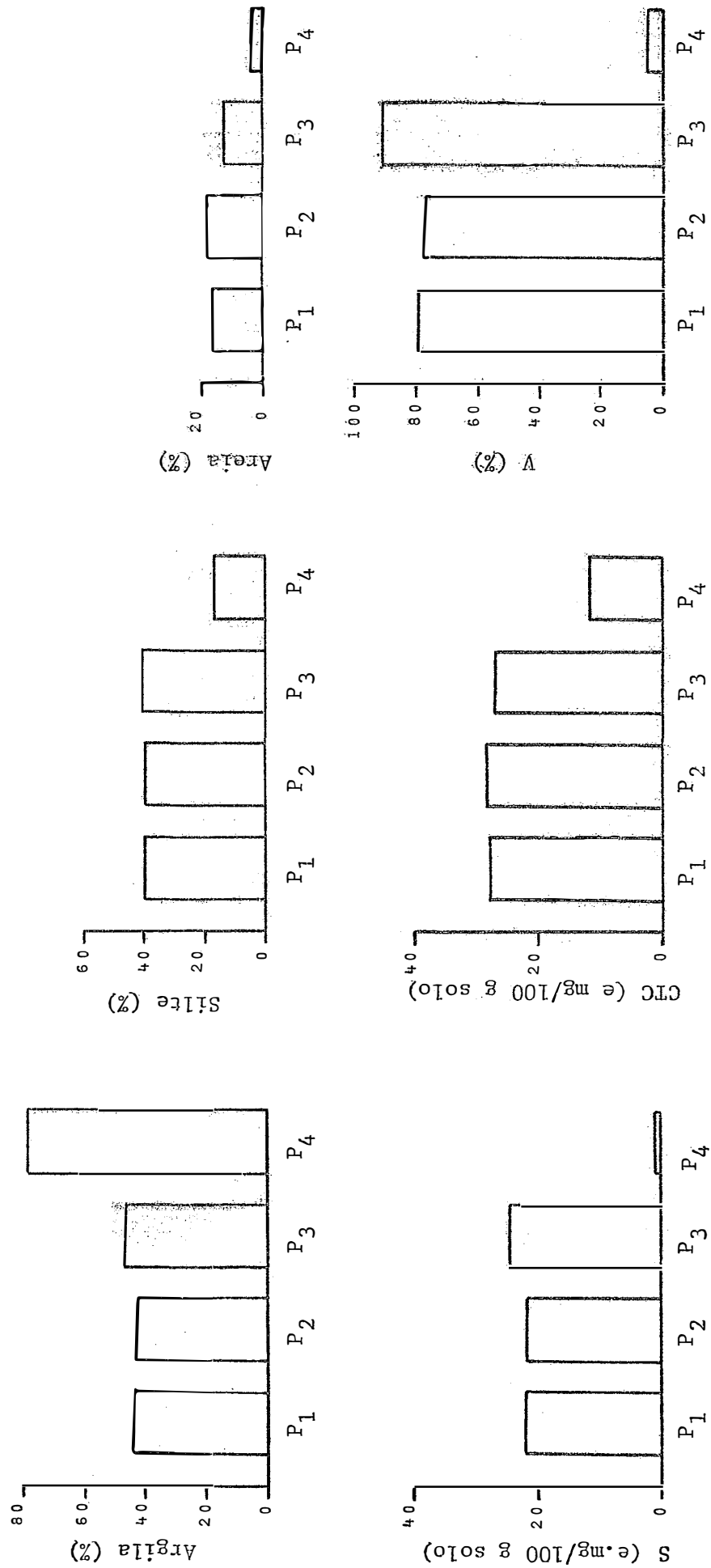


Figura 5 - Variação de algumas características granulométricas e químicas entre os perfis estudados (média de cada perfil).

Quadro 4 - Principais características químicas dos solos estudados

HORIZONTES	pH		Cátions trocáveis				Acidez trocável		CTC e.mg/100 g argila	C	V	[CO ₃ Al] ⁺⁺⁺ Al ⁺⁺⁺ + S			
	H ₂ O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ⁺⁺⁺					H ⁺	— %	
	—	1:2,5	— e.mg/100 g de solo				—								
Perfil 1															
<u>Solo Litólico</u>															
Ap	5,5	4,6	-0,9	16,8	5,7	0,29	0,05	22,8	0,0	6,7	29,5	65,5	2,4	77,0	0,0
C	5,0	4,0	-1,0	15,4	5,7	0,30	0,06	21,4	0,0	5,0	26,4	61,4	1,8	81,0	0,0
Perfil 1															
<u>Cambissol</u>															
Ap	5,4	4,7	-0,7	16,4	4,2	0,24	0,16	21,0	0,1	9,7	30,8	75,1	3,8	68,0	1,0
(B)	6,0	4,9	-1,1	14,6	6,1	0,13	0,13	21,0	0,0	5,4	26,4	57,4	1,7	80,0	0,0
C	6,2	4,8	-1,4	15,5	7,6	0,16	0,16	23,4	0,0	4,8	28,2	68,8	0,8	83,0	0,0

continua...

quadro 4 - Principais características químicas dos solos estudados

continuação

HORIZONTES	pH		Cátions trocáveis				Acidez trocável		CTC e.mg/100 g argila	C	V	100xAl ⁺⁺⁺ Al ⁺⁺⁺ + S		
	H ₂ O	KCl	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ⁺⁺⁺					H ⁺	
— 1:2,5 —		e.mg/100 g de solo												
Perfil 3														
Brunizem Avermelhado														
A1	7,1	5,7	22,1	5,5	1,00	0,07	28,7	0,0	1,2	29,9	78,7	3,1	96,0	0,0
A3	7,2	6,0	17,0	5,2	0,93	0,06	23,2	0,0	1,4	24,6	64,7	1,7	94,0	0,0
B1	7,2	6,0	17,1	5,3	0,86	0,04	23,3	0,0	1,6	24,9	53,0	0,9	94,0	0,0
B21t	7,1	5,5	15,9	6,7	0,41	0,04	23,1	0,0	3,0	26,1	45,0	0,7	89,0	0,0
B22t	6,8	5,1	14,1	8,4	0,26	0,06	22,8	0,0	3,2	26,0	48,1	0,6	88,0	0,0
B3/C	6,3	4,8	16,9	10,7	0,17	0,12	27,9	0,0	3,7	31,6	64,5	0,4	88,0	0,0
Perfil 4														
Latossol Bruno														
Ap	4,3	3,7	1,2	0,2	0,03	0,05	1,7	5,3	16,6	23,6	31,9	4,4	7,0	76,0
A3	4,9	3,9	0,4	0,1	0,03	0,02	0,6	3,8	8,9	13,3	16,8	2,1	5,0	86,0
B1	4,9	3,9	0,1	0,1	0,02	0,08	0,6	3,2	7,2	11,1	13,9	1,3	5,0	84,0
B21	5,4	4,2	0,08	0,02	0,03	0,04	0,2	1,1	4,1	5,4	6,5	0,6	4,0	85,0
B22	5,5	4,3	0,08	0,02	0,02	0,02	0,1	0,7	4,3	5,1	6,1	0,5	2,0	88,0

A saturação em bases segue a mesma tendência da soma de bases. Com fundamento nos dados apresentados (Quadro 4), os perfis da superfície I podem ser considerados como eutróficos e o da superfície II, como álico.

Com relação ao pH, verifica-se que acompanha a mesma tendência constatada para a porcentagem de saturação em bases. A elevada saturação em bases dos solos da superfície I condicionou altos valores de pH, porém o inverso se verificou com o solo da superfície II. Esta associação entre pH e porcentagem de saturação em bases foi observada por diversos autores (CATANI e GALLO, 1955; VAN RAIJ *et alii*, 1968; CASTRO *et alii*, 1972).

O pH determinado em KCl segue a mesma distribuição do pH em água, porém com valores menores. Isto resulta em valores de Δ pH negativos, indicando a predominância de cargas negativas no complexo coloidal de todos os perfis componentes da sequência (MEKARU e UEHARA, 1972). Os solos da superfície I possuem valores de Δ pH mais elevados que o solo da superfície II. Este fato está aparentemente relacionado com a natureza mineralógica da fração argila. A composição mineralógica da superfície mais recente mostra predominância de minerais de estrutura 2:1, enquanto que na superfície mais antiga a caulinita é o mineral predominante (Ítem 6.5).

A acidez trocável é representada na superfície I apenas pelos íons de hidrogênio e na superfície II, pelo hidrogênio e alumínio. Nota-se, portanto, que a lixiviação é mais

intensa na superfície I. O decréscimo na soma e saturação em bases, com conseqüente declínio no pH, nos solos da superfície II, contribui para um aumento de alumínio e hidrogênio na ocupação das cargas negativas do complexo coloidal. Os teores de alumínio trocável, superiores à soma de bases, conferem ao perfil representante de superfície II uma elevada saturação nesse elemento, imprimindo ao solo um forte caráter álico (EMBRAPA, 1975).

Com referência ao carbono, nota-se um aumento nos solos da superfície I para os da superfície II. COSTA LIMA (1979) observou tendência contrária em seqüência de solos também derivados de basalto no norte do Paraná, atribuindo tal fato a um manejo agrícola mais intenso nos solos das superfícies mais estáveis, por apresentarem melhores condições de relevo. No presente caso, atribui-se os maiores teores de matéria orgânica nos solos da superfície II como resultantes de uma utilização agrícola esporádica, em conseqüência de sua baixa fertilidade natural e presença de níveis tóxicos de alumínio trocável. Os solos da superfície II, embora situados em condições mais adversas de relevo, são mais providos de nutrientes para as plantas, o que leva a serem preferidos para utilização agrícola. Outro fato que não deve ser desprezado, para justificar os teores mais elevados de matéria orgânica na superfície II, é o alto teor em alumínio trocável agindo como elemento estabilizador dos compostos orgânicos. De acordo com DUCHAUFOR (1977), o alumínio tem a capacidade de formar complexos metalor

gânicos muito estáveis.

A capacidade de troca catiônica (CTC) decresce consideravelmente em direção à superfície II (Quadro 4). Este comportamento confirma, mais uma vez, a intensificação dos processos de alteração nos solos da superfície II e está em consonância com a composição mineralógica da fração argila. Verifica-se, no mesmo sentido, um decréscimo dos minerais de alta atividade e um acréscimo nos teores de caulinita (Quadro 6). Recalculando-se os dados de CTC para 100 gramas de argila, os perfis da superfície I apresentam valores superiores a 24 e.mg, indicando alta atividade desta fração e confirmando a presença de minerais de estrutura 2:1. A CTC do perfil da superfície II, também recalculada, indica baixa atividade da argila e conseqüentemente, predominância de minerais 1:1.

Os resultados químicos obtidos evidenciam que os perfis da superfície I são quimicamente mais ricos que o perfil da superfície II e que são possuidores de uma CTC mais elevada. O maior grau de lixiviação e intemperismo, favorecidos pela maior estabilidade e antiguidade da superfície II, ocasionou no solo representativo, baixos valores de soma e saturação em bases e de CTC, e elevados teores de alumínio trocável. As variações entre algumas características químicas dos solos estudados acham-se graficamente representadas na Fig. 5.

6.4. Relações moleculares

Os resultados analíticos obtidos através do ataque sulfúrico acham-se no Quadro 5, a partir dos quais foram calculadas as relações moleculares.

Os resultados evidenciam algumas transformações sofridas pelos solos como consequência da ação do intemperismo.

Observa-se que a sílica aumenta com a profundidade dos solos e decresce no sentido do Perfil 1 para o perfil 4. O alumínio se comporta de maneira oposta à sílica, demonstrando uma acumulação no mesmo sentido.

Essa variação na distribuição do alumínio e da sílica é o resultado de uma dessilicatização crescente dos solos situados na parte mais baixa da sequência para aqueles localizados na porção mais elevada. Esse processo é confirmado pela relação k_1 , a qual diminui no sentido considerado, atingindo um máximo de 4,2 nos solos representativos da superfície I e sofrendo uma queda para 1,9 no solo situado na superfície II.

Comparando-se os teores de sílica e alumínio dos perfis, nota-se que a sílica é superior nos solos da superfície I, indicando predominância de minerais de argila 2:1.

Quadro 5 - Resultados obtidos pela análise do ataque sulfúrico na TFSA e relações moleculares

HORIZONTES Prof. Símbolo (cm)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	%			relação molar
					$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$ (Ri)	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3+Fe_2O_3}$ (kr)	$\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$	
Perfil 1								
<u>Solo Litólico</u>								
Ap	0 - 35	23,6	13,2	24,2	3,8	3,0	1,4	0,8
C	- 70	25,1	14,2	23,8	3,6	3,0	1,4	0,9
Perfil 2								
<u>Cambissol</u>								
Ap	0 - 25	28,9	17,8	7,0	2,1	2,7	2,2	3,9
(B)	75	25,5	14,9	19,7	3,1	2,9	1,5	1,2
C	100 ⁺	31,3	21,2	21,8	2,5	2,5	1,5	1,5

Continua....

Quadro 5 - Resultados obtidos pela análise do ataque sulfúrico na TFSA e relações moleculares.
-Continuação-

HORIZONTES Símbolo (cm)	%					relação molar	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ (ki)	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$ (kr)	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$
Perfil 3							
Brunizem Avermelhado							
A1	19,0	7,7	26,8	5,4	4,2	1,3	0,4
A3	18,5	7,6	28,2	5,7	4,1	1,2	0,4
B1	22,2	10,5	27,3	4,8	3,5	1,3	0,6
B21t	25,9	13,4	25,5	4,3	3,3	1,5	0,8
B22t	26,0	13,6	25,9	4,3	3,2	1,5	0,8
B3/C	30,4	15,0	25,0	3,8	3,4	1,7	0,9
Perfil 4							
Latossol Bruno							
Ap	22,9	20,6	18,9	4,3	1,9	1,2	1,7
A3	22,3	22,1	20,4	4,5	1,7	1,1	1,7
B1	22,8	22,8	20,9	4,6	1,7	1,1	1,7
B21	24,6	22,9	20,8	4,3	1,8	1,2	1,7
B22	24,2	22,8	21,4	4,4	1,7	1,1	1,7

Na superfície II os teores desses dois elementos são praticamente equivalentes, traduzindo predominância de minerais de argila 1:1 e pouca ou nenhuma gibbsita. Esses resultados concordam com a composição mineralógica da fração argila (ítem 6.5).

Os teores de ferro diminuem da superfície I para a superfície II. Também os dados de ferro total (Quadro 8 - Apêndice) indicam o mesmo comportamento. Diversos autores (JACKSON, 1967; BUOL *et alii*, 1973) mostram que a tendência do ferro é aumentar com o desenvolvimento dos solos. Nenhuma explicação lógica foi encontrada para este fato. Uma conclusão definitiva poderá ser alcançada repetindo-se as análises por vários métodos e com um maior número de repetições. Tendência oposta verificou-se com o titânio, o que foi admitido como uma acumulação relativa desse elemento.

Nos perfis 1 e 3, a relação Al_2O_3/Fe_2O_3 aumenta gradativamente em profundidade, o que foi assumido como consequência de uma maior intensidade de intemperismo em superfície onde os minerais de estrutura 2:1 se alteram em minerais do tipo 1:1, liberando ferro. Tal evidência aparentemente é confirmada pela relação kr e por uma diminuição nos teores de montmorilonita.

No perfil 2, entretanto, a relação Al_2O_3/Fe_2O_3 decresce em profundidade, o mesmo se verificando com a relação kr. Este comportamento sugere uma contribuição de material me-

nos alterado na superfície deste perfil.

No perfil 4, os valores das relações Al_2O_3/Fe_2O_3 e k_r não mostram diferenças significativas em profundidade, indicando pequeno ou nenhum acúmulo desses elementos. A uniformidade dessas relações sugere grande homogeneidade vertical do solo considerado.

6.5. Mineralogia da fração argila

Nos solos representativos da superfície I a análise por difração de raios-X permitiu a identificação dos seguintes minerais: caulinita, montmorilonita, vermiculita, mica, interestratificados mica-montmorilonita, quartzo e cristobalita.

A caulinita foi diagnosticada pela presença de picos de 7,2 e 3,5 Å em todos os tratamentos realizados nas amostras, com exceção do aquecimento a 550°C, que provocou o seu desaparecimento (Fig. 6 a 13). O exame dos difratogramas e os resultados da análise térmica diferencial - ATD - (Fig. 17), revelam que a caulinita é um dos principais constituintes dos solos da superfície I. Nas condições dos perfis considerados, postula-se que a formação da caulinita teria ocorrido possivelmente por duas vias principais: pela alteração direta dos minerais primários presentes na rocha basáltica, tais como plagioclásios e piroxênios (MELFI e LEVI, 1971); e através da transformação da montmorilonita, favorecida pelas condições

ligeiramente ácidas e de boa drenagem (MELFI e LEVI, 1971; MONIZ *et alii.*, 1976).

A montmorilonita foi reconhecida pelo espaçamento de 14 \AA que se expandiu para 18 \AA com a glicolação e se alterou para 10 \AA com aquecimento das amostras (Fig. 6 a 13). A intensidade dos picos da montmorilonita e as análises químicas indicam que, juntamente com a caulinita, é um dos minerais predominantes nesses solos. A presença deste mineral em todos os solos da superfície I é atribuída principalmente à alteração dos minerais primários constituintes da rocha tais como piroxênios (MELFI e LEVI, 1971). De acordo com esses autores, a montmorilonita é instável em condições de boa drenagem e transforma-se em caulinita e óxidos de ferro. A instabilidade deste mineral, nas condições dos solos pesquisados, fica aparentemente evidenciada pelo exame dos difratogramas nos quais os picos da montmorilonita demonstram uma ligeira diminuição de intensidade em direção à superfície dos solos, principalmente no perfil 2 (Fig. 18).

A mica foi identificada pelos espaçamentos de 10, 5 e $3,3 \text{ \AA}$, os quais permaneceram inalterados em todos os tratamentos (Figuras 6 a 13). Este mineral apresentou picos pouco definidos e de baixa intensidade dificultando, na maioria das vezes, o seu diagnóstico definitivo. Este fato foi interpretado como uma evidência de baixos teores de mica, o que também foi constatado pela análise química (Quadro 6). Resultados

Quadro 6 - Composição mineralógica estimativa (%) da fração argila isenta de óxidos de ferro livres.

PERFIL	HORIZONTE	C	G	MA	Mi	V	Mt	F	Q	Cr
1	Ap	25	0	25	6	2	35	tr	tr	tr
2	Ap	30	0	23	5	1	31	tr	tr	tr
2	(B)	-	-	30	4	2	30	tr	tr	tr
3	A ₁	25	0	20	-	3	21	tr	tr	tr
3	B22t	-	-	21	4	3	31	tr	tr	tr
4	Ap	70	0	26	3	0	0	0	tr	tr
4	B22	-	-	25	3	0	0	0	tr	tr

C - caulinita; G - gibbsita; MA - material amorfo; Mi - mica; V - vermiculita;

Mt - montmorilonita; F - feldspato; Q - quartzo; Cr - cristobálita; - não determinado;

tr - traços.

similares foram obtidos por MONIZ e OLIVEIRA (1974).

A ocorrência de vermiculita foi constatada pela presença de pico a 14 \AA nas amostras saturadas com potássio e nas glicoladas dos horizontes Ap e (B) do perfil 2. Com aquecimento o pico alterou-se para 10 \AA (Fig. 8 e 9). A pequena intensidade desses picos sugere baixos teores desse mineral.

A presença de minerais interestratificados do tipo mica-montmorilonita foi inferida pela ocorrência de bandas em situações intermediárias entre os espaçamentos de 10 a 18 \AA (Fig. 6, 8 e 12).

A ocorrência de picos nos espaçamentos de 3,3, 4,0 e $4,2 \text{ \AA}$ foram atribuídos a quartzo e cristobalita. FARIAS *et alii* (1974) também constataram a ocorrência de cristobalita em solos recentes derivados de basalto.

No solo representativo da superfície II (Perfil 4), os difratogramas possibilitaram detectar a presença de caulinita, vermiculita-cloritizada e mica.

A predominância de caulinita no perfil 4 é indicada pela grande intensidade de seus picos característicos (Fig. 15 a 17) e ATD (Fig. 18). Os baixos teores dos outros minerais de estrutura 2:1 no perfil 4 (Quadro 6) levam a considerar os elevados teores de caulinita como resultantes, em parte, de um processo de dessilicatização devido à maior antiguidade da superfície II.

A vermiculita-cloritizada foi reconhecida por um pico nítido e intenso na espaçamento de 14 \AA na amostra saturada com potássio. Pelo efeito da glicolação ocorreu uma expansão para $14,7 \text{ \AA}$ e, quando aquecida, constatou-se um pico de menor resolução e aproximadamente 11 \AA (Fig. 14 a 16). A formação deste mineral é devida à precipitação de hidróxido de alumínio nos espaços interlaminares da vermiculita (JACKSON, 1964). A ocorrência de vermiculita-cloritizada em solos ácidos e altamente intemperizados foi observada por COSTA LIMA (1979) e KAMPF e KLAMT (1978), em solos do Paraná e Rio Grande do Sul, assim como por DEMATTE e HOLOWAYCHUCK (1977) e LEPSCH *et alii* (1977) em solos do Estado de São Paulo. Os difratogramas (Fig. 21) permitem verificar um aumento de vermiculita-cloritizada no sentido dos horizontes superiores, possivelmente em função da presença de altos teores de alumínio nessa porção do solo (Quadro 4).

KAMPF e KLAMT (1978), trabalhando com solos similares ao perfil 4 no Rio Grande do Sul, encontraram baixos teores de gibbsita. Por outro lado, MONIZ e JACKSON (1967) e CARVALHO e MONTGOMERY (1971) constataram elevados teores deste mineral em São Paulo, em solos com B latossólico derivados de rochas básicas. A ausência de gibbsita nos solos do presente estudo, principalmente no perfil 4, é provavelmente uma indicação de que, nos estados sulinos, os solos encontram-se em um estágio inferior de alteração comparativamente ao Estado de São Paulo.

A ocorrência de mica no perfil 4 foi evidenciada principalmente pela presença de picos pouco intensos no espaçamento de 10 \AA , sugerindo baixos teores deste mineral (Fig. 14 a 16).

Os resultados obtidos em relação à natureza e quantidades relativas dos minerais presentes na fração argila, sugerem que os solos da sequência estudada encontram-se em diferentes estádios de Intemperismo. Tratando-se de solos derivados provavelmente de um mesmo material de origem - rochas basálticas - e submetidos às mesmas condições de clima e vegetação, as diferenças observadas na mineralogia da fração argila são atribuídas ao período de tempo que essas duas superfícies estiveram sujeitas aos processos de alteração. A superfície é considerada mais recente, logo os minerais presentes nos solos dessa superfície são aqueles situados nos primeiros estágios da sequência de Intemperismo proposta por JACKSON *et alii* (1948). Por outro lado, a superfície II é admitida como mais antiga. A preservação dessa superfície permitiu um maior tempo de exposição dos solos nela desenvolvidos aos mecanismos de Intemperismo e lixiviação, facilitados por um relevo plano. Por conseguinte, apresenta uma composição mineralógica indicadora de uma alteração mais acentuada.

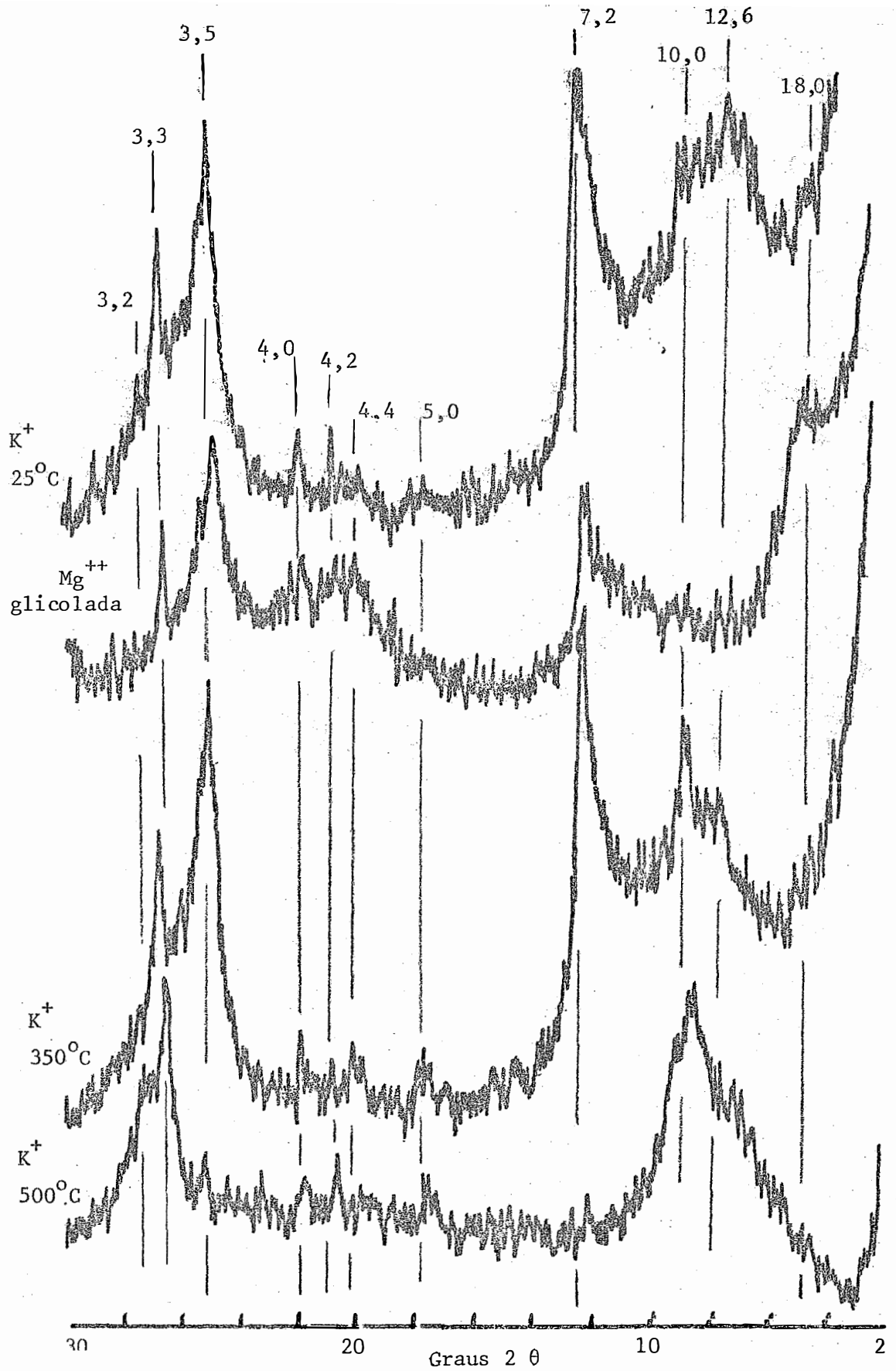


Figura 6 - Difratoograma de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte A_p do perfil 1.

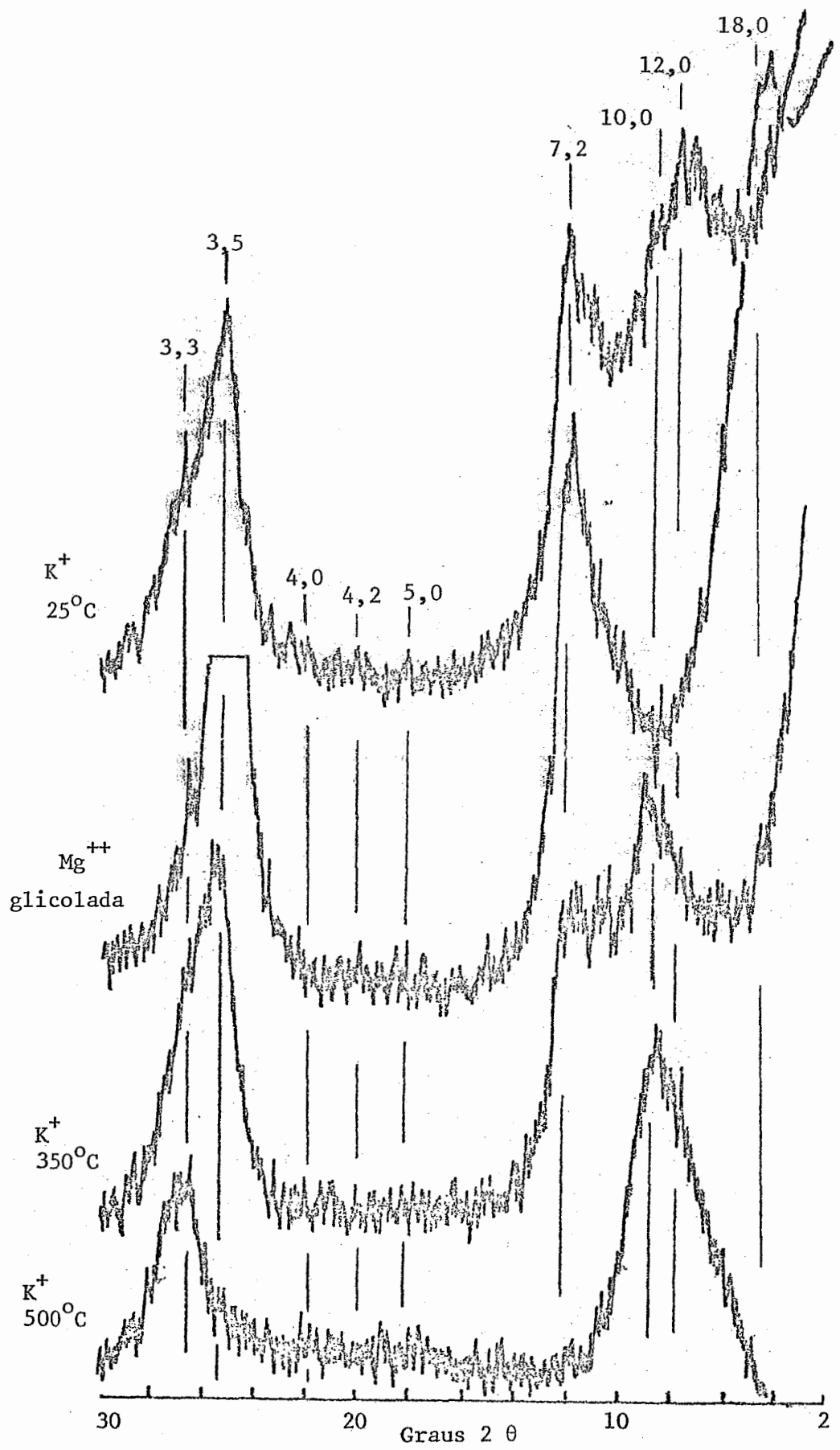


Figura 7 - Difratograma de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte C do perfil 1.

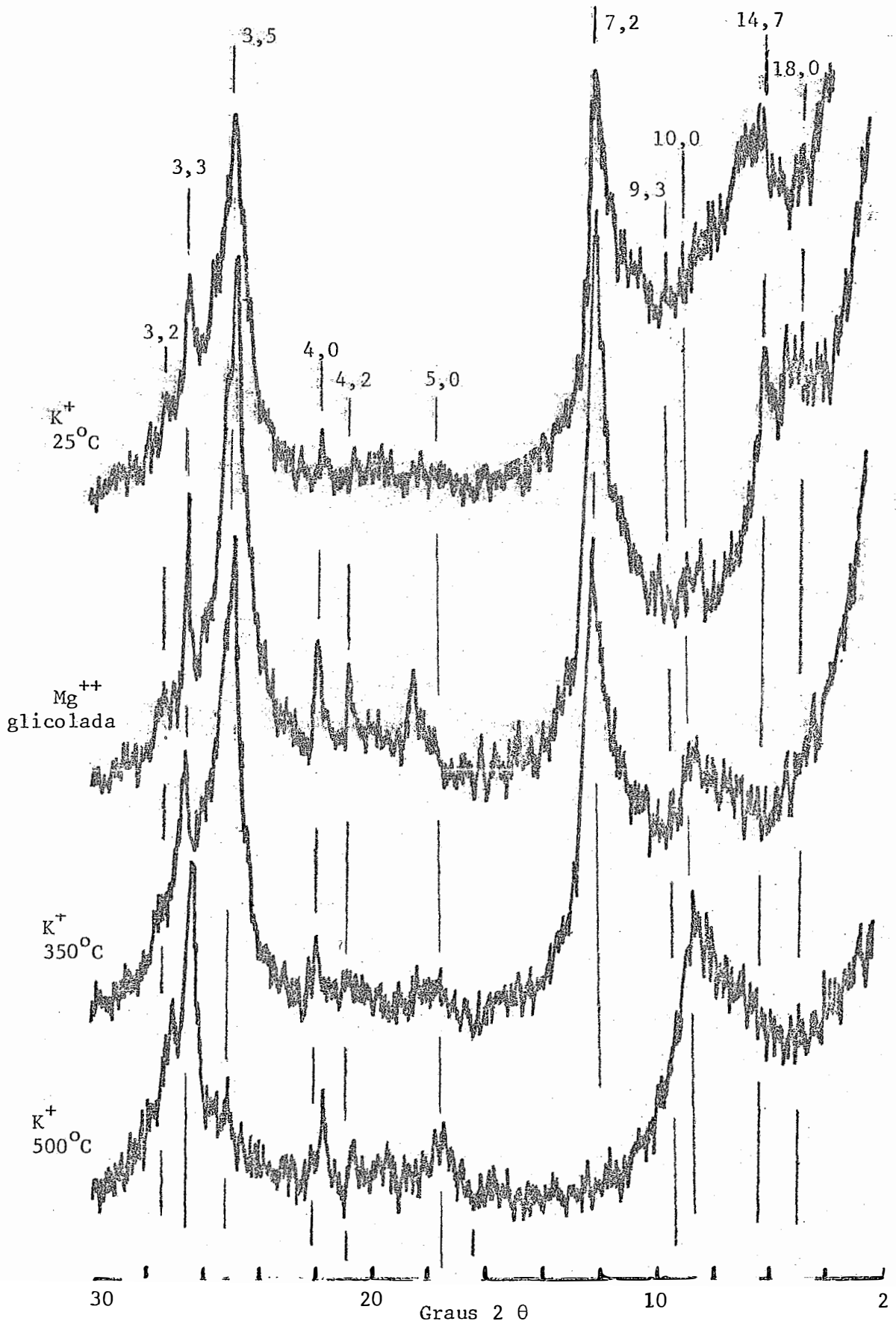


Figura 8 - Difratoograma de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte A_p do perfil 2.

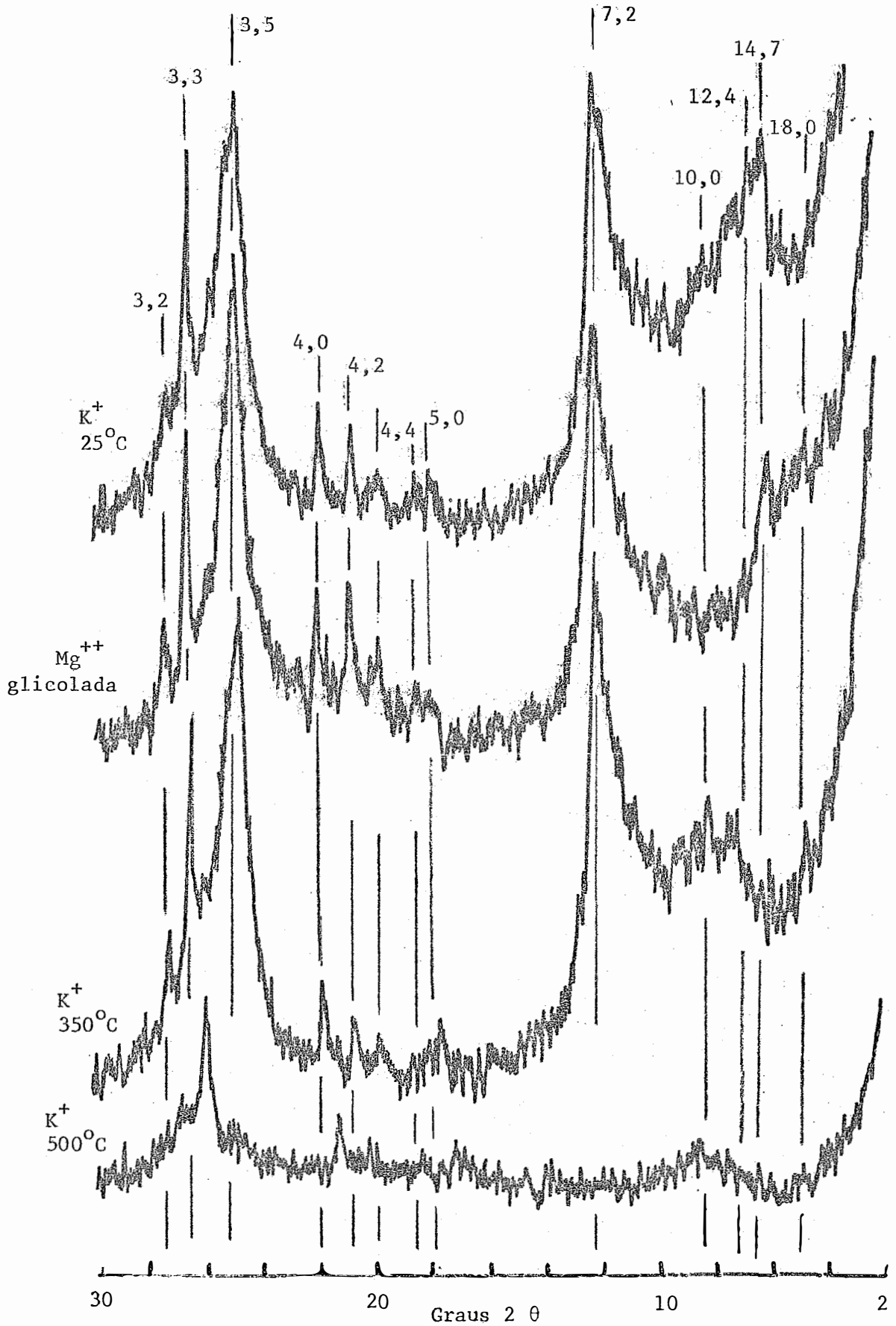


Figura 9 - Difratoograma de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte (B) do perfil 2.

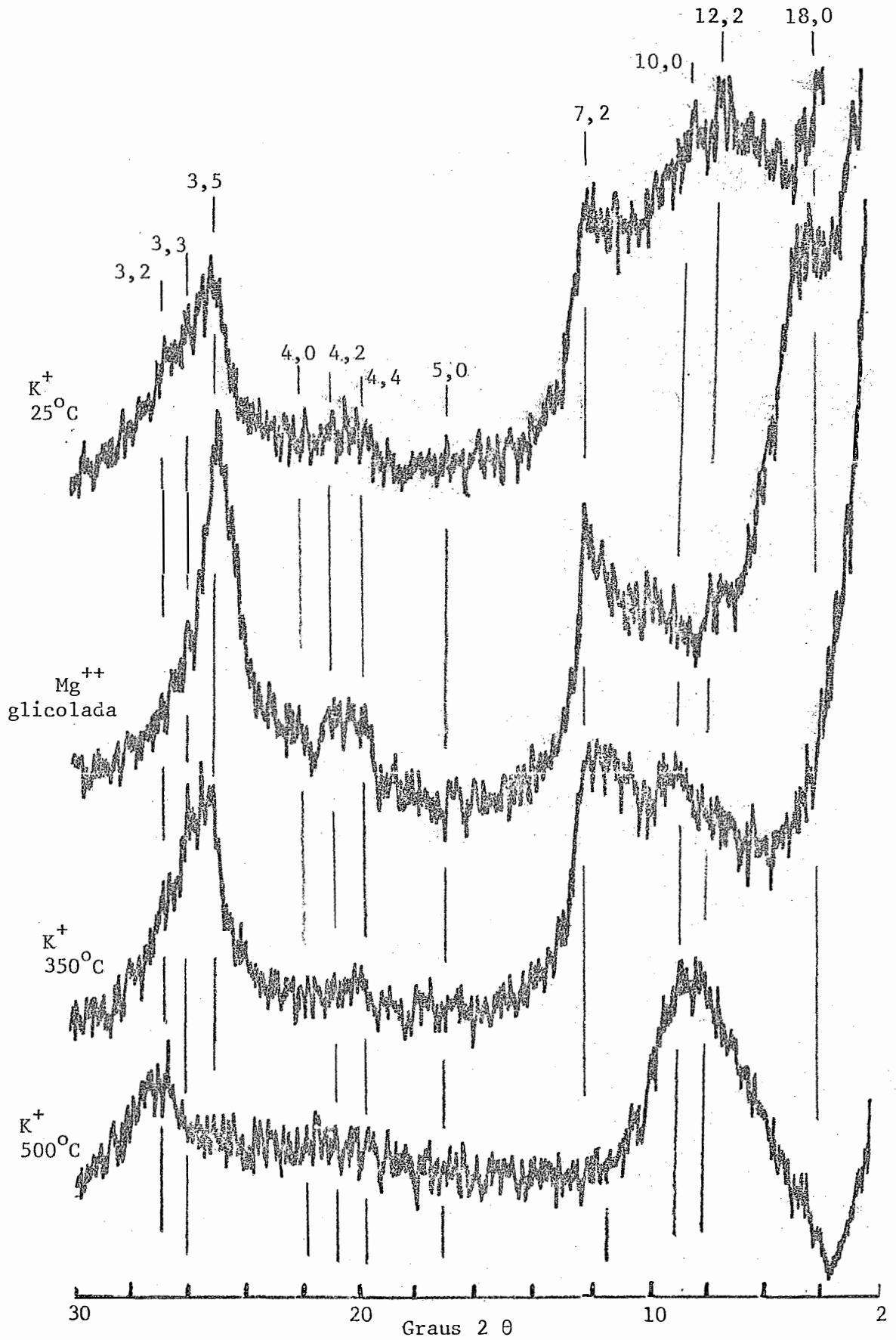


Figura 10 - Difratoograma de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte C do perfil 2.

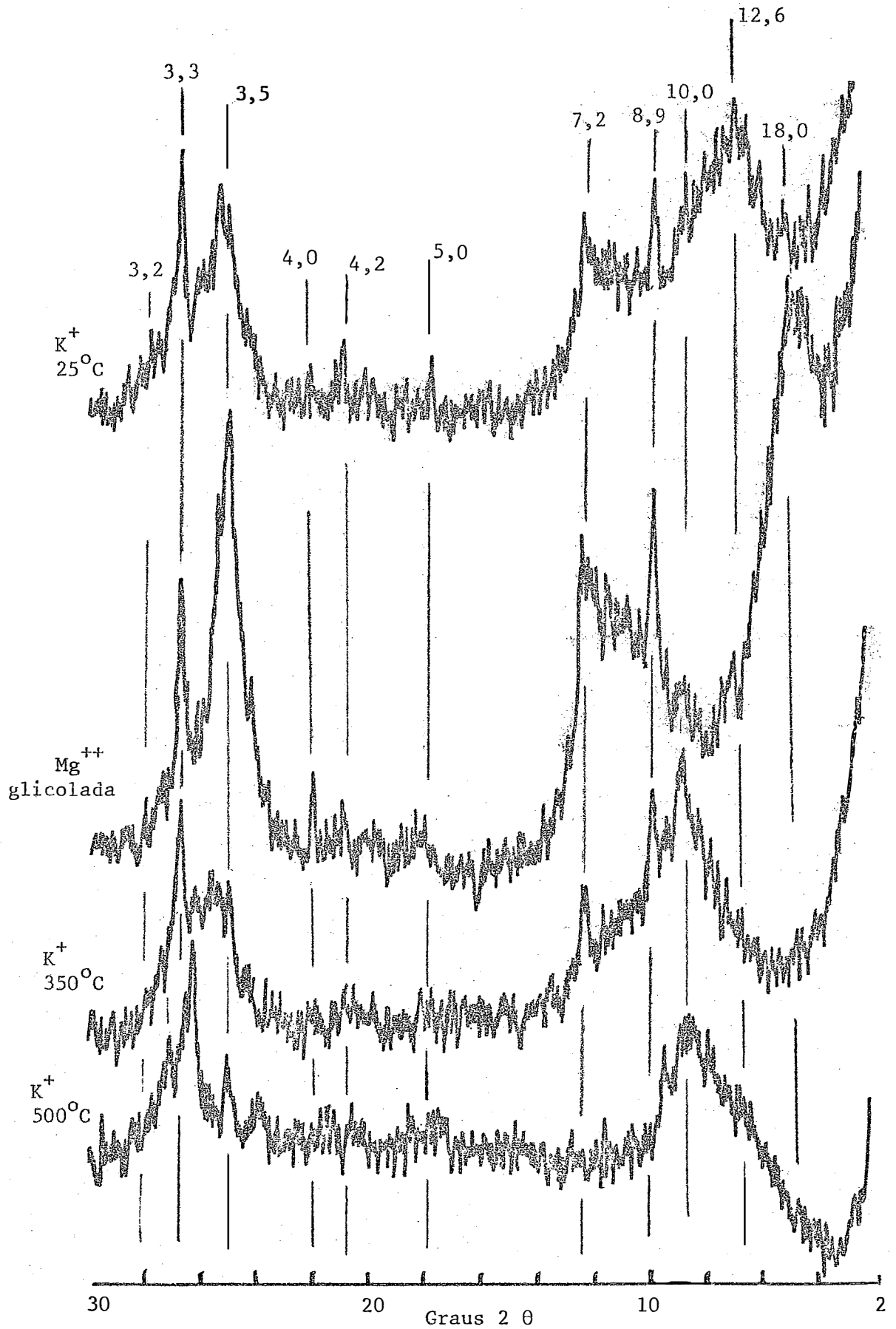


Figura 11 - Difratoograma de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte A_1 do perfil 3.

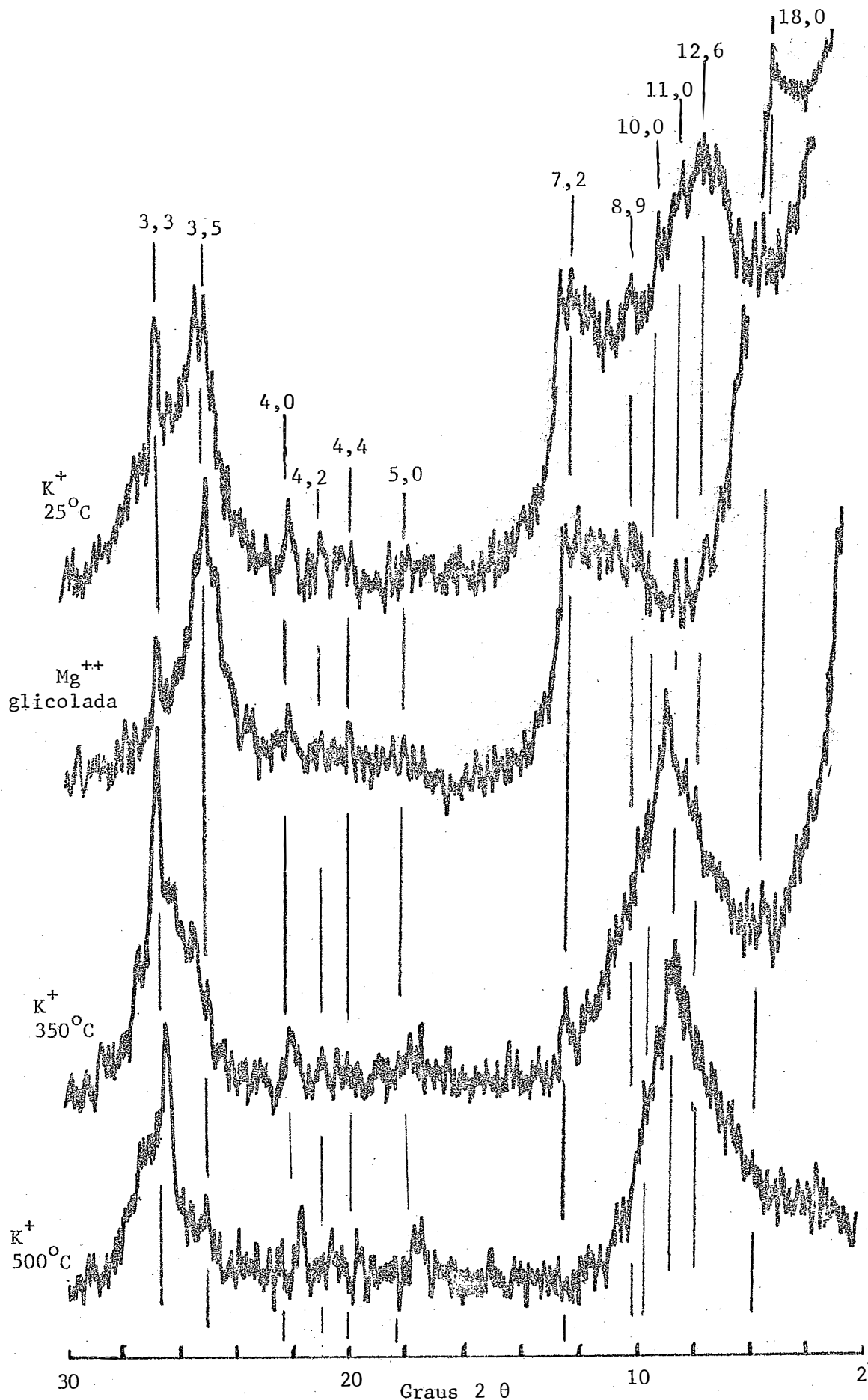


Figura 12 - Difratoograma de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte B₁ do perfil 3.

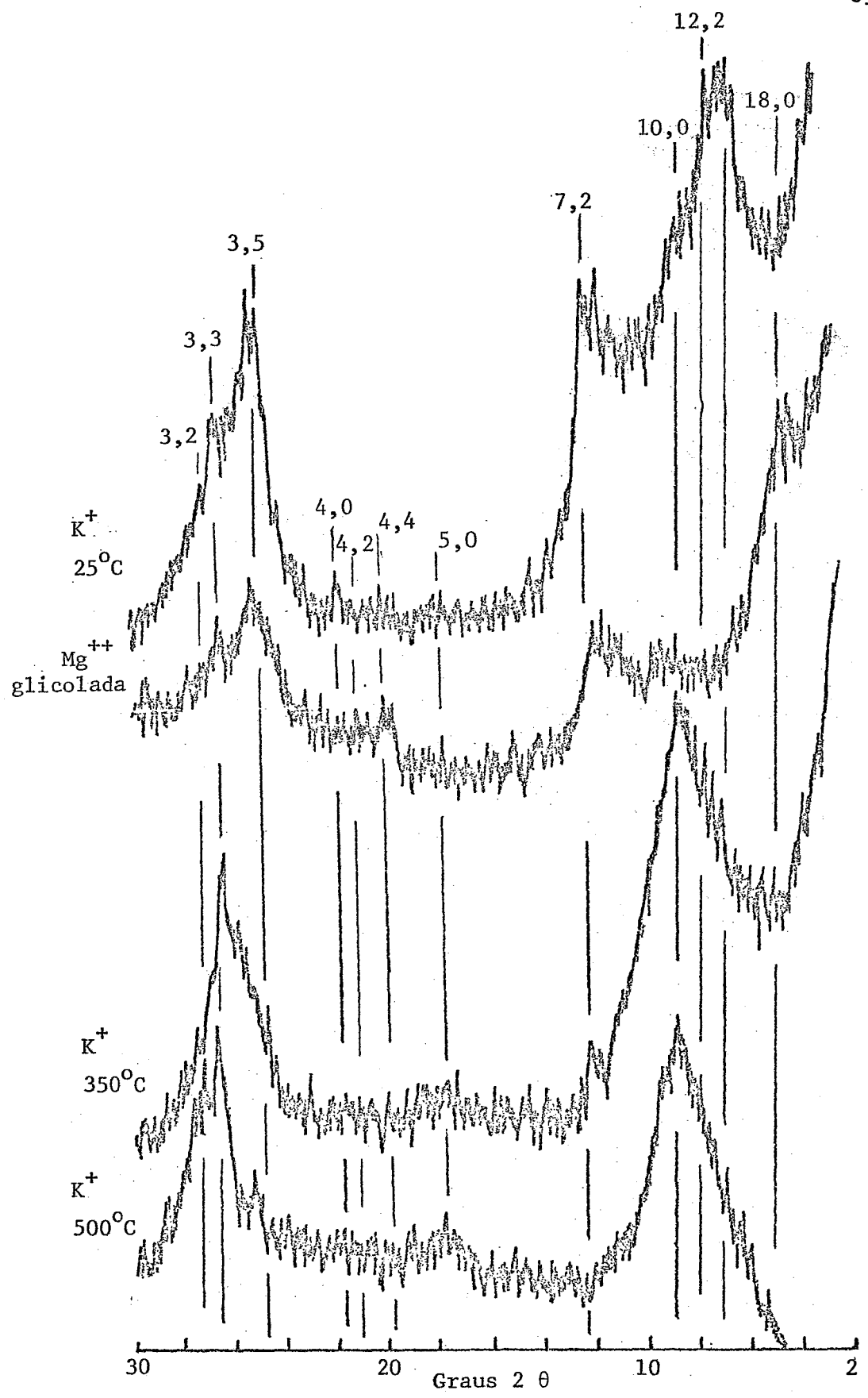


Figura 13 - Difratoograma de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte B_{22t} do perfil 3.

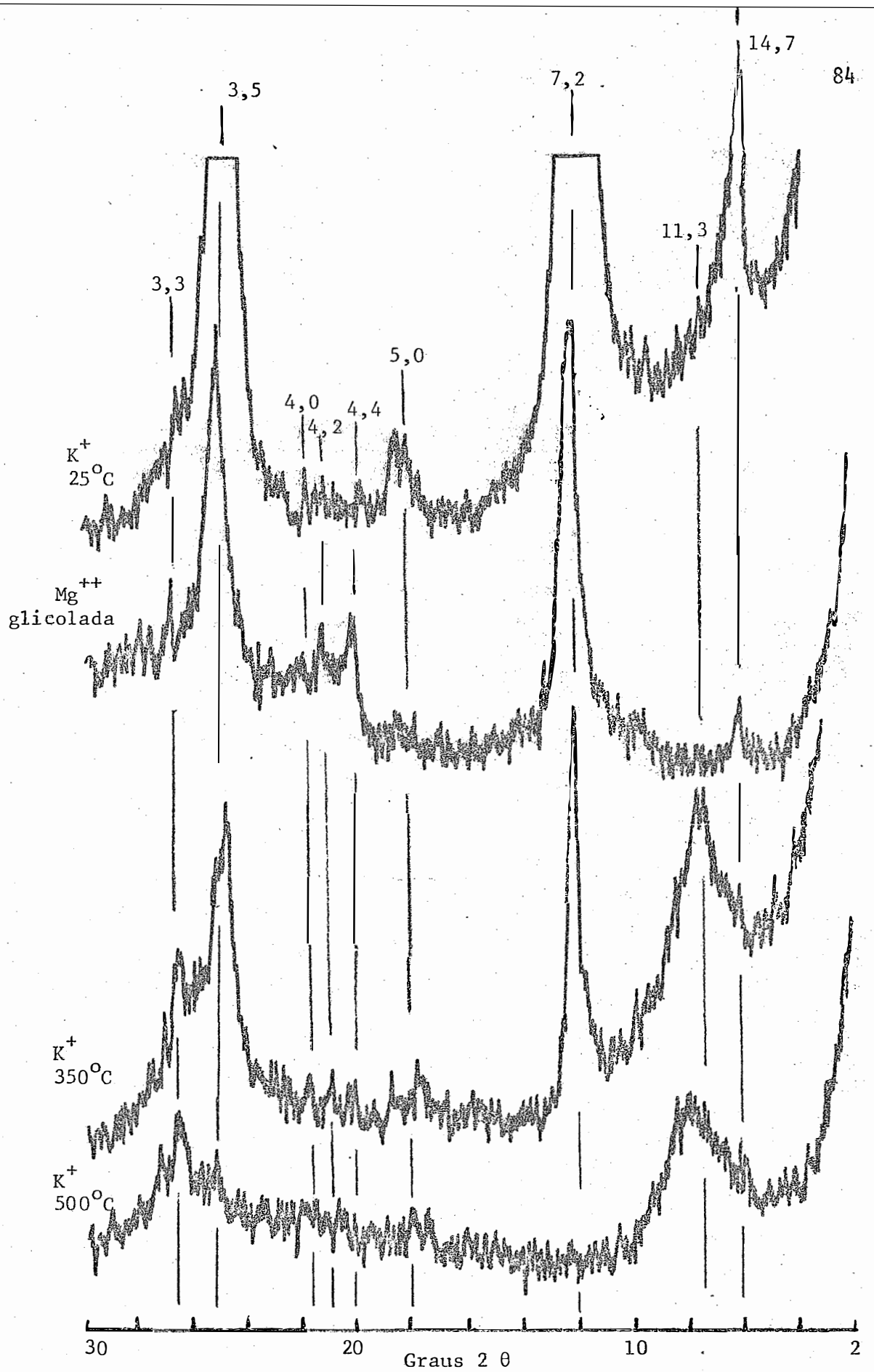


Figura 14 - Difratoograma de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte A_p do perfil 4.

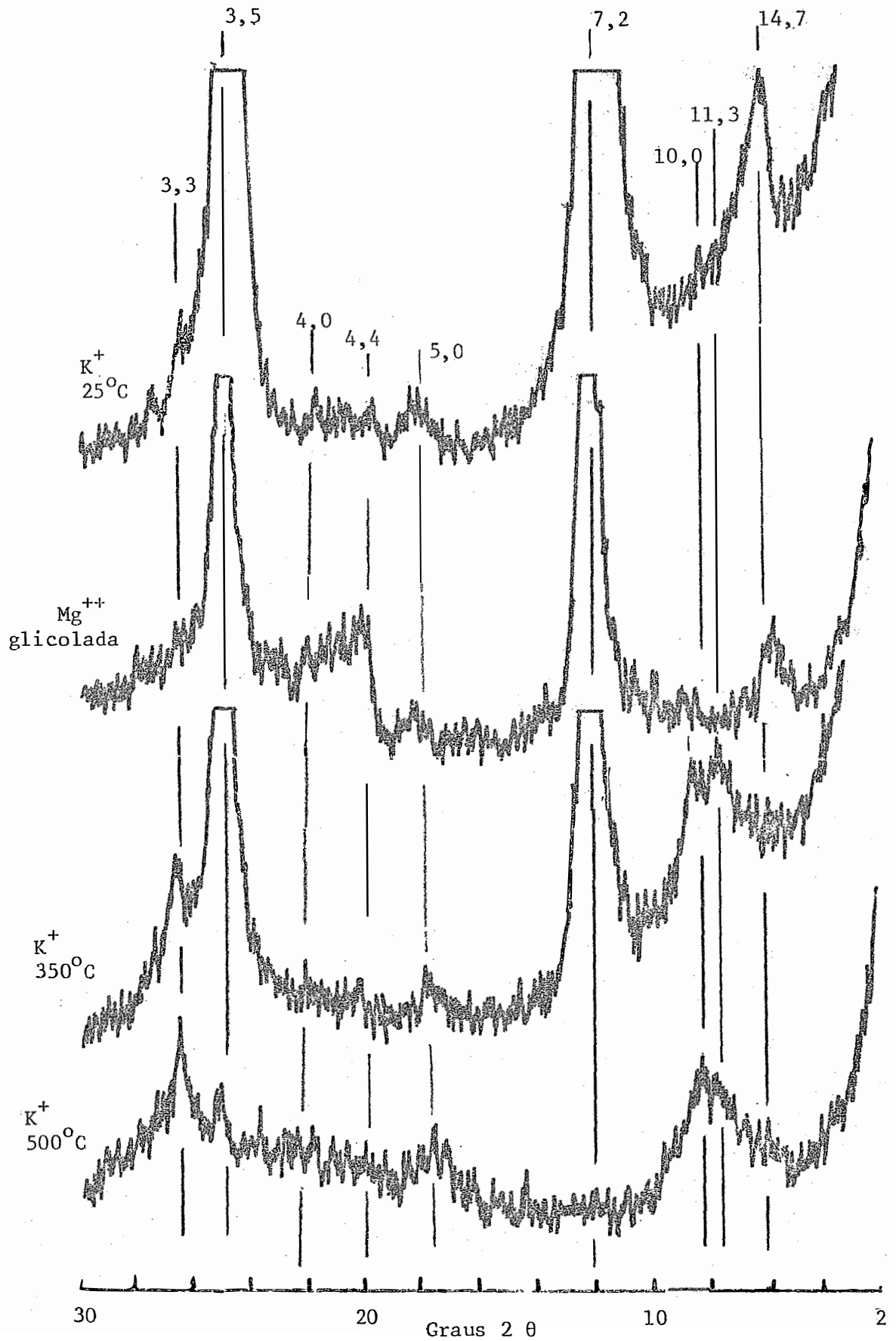


Figura 15 - Difratoograma de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte B_i do perfil 4.

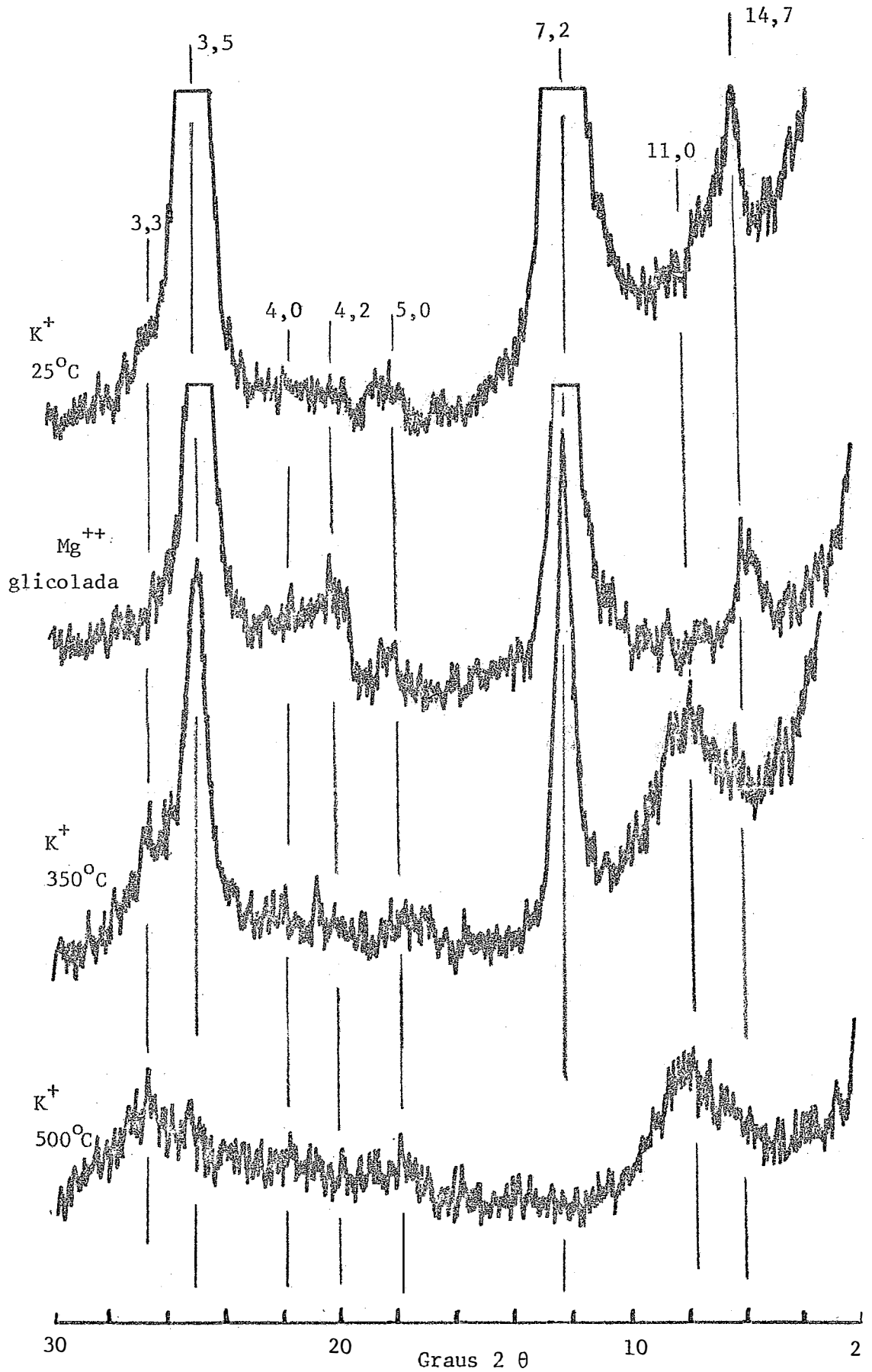


Figura 16 - Difratoograma de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte B₂₂ do perfil 4.

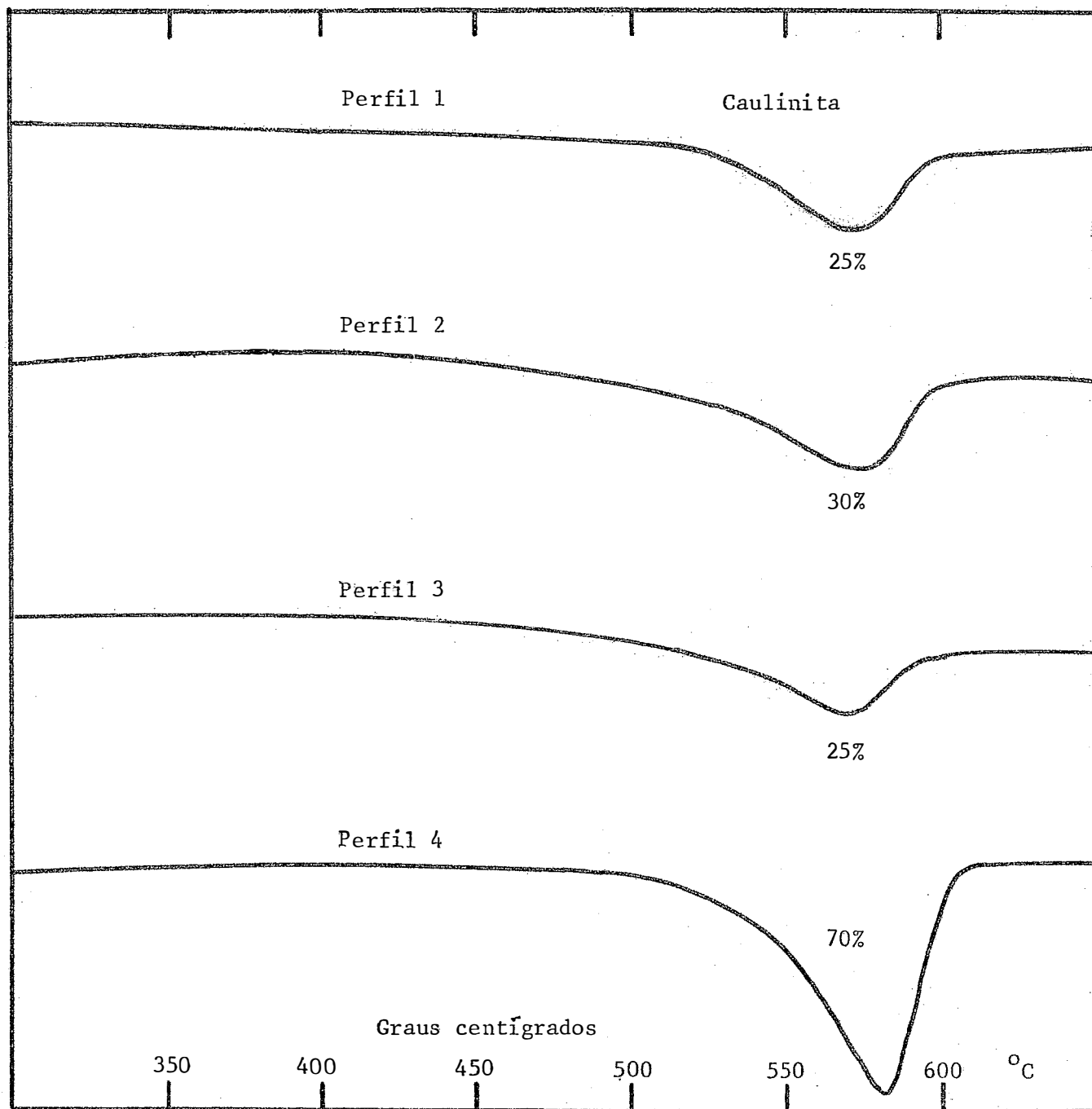


Figura 17 - Termogramas da fração argila dos horizontes A dos solos estudados.

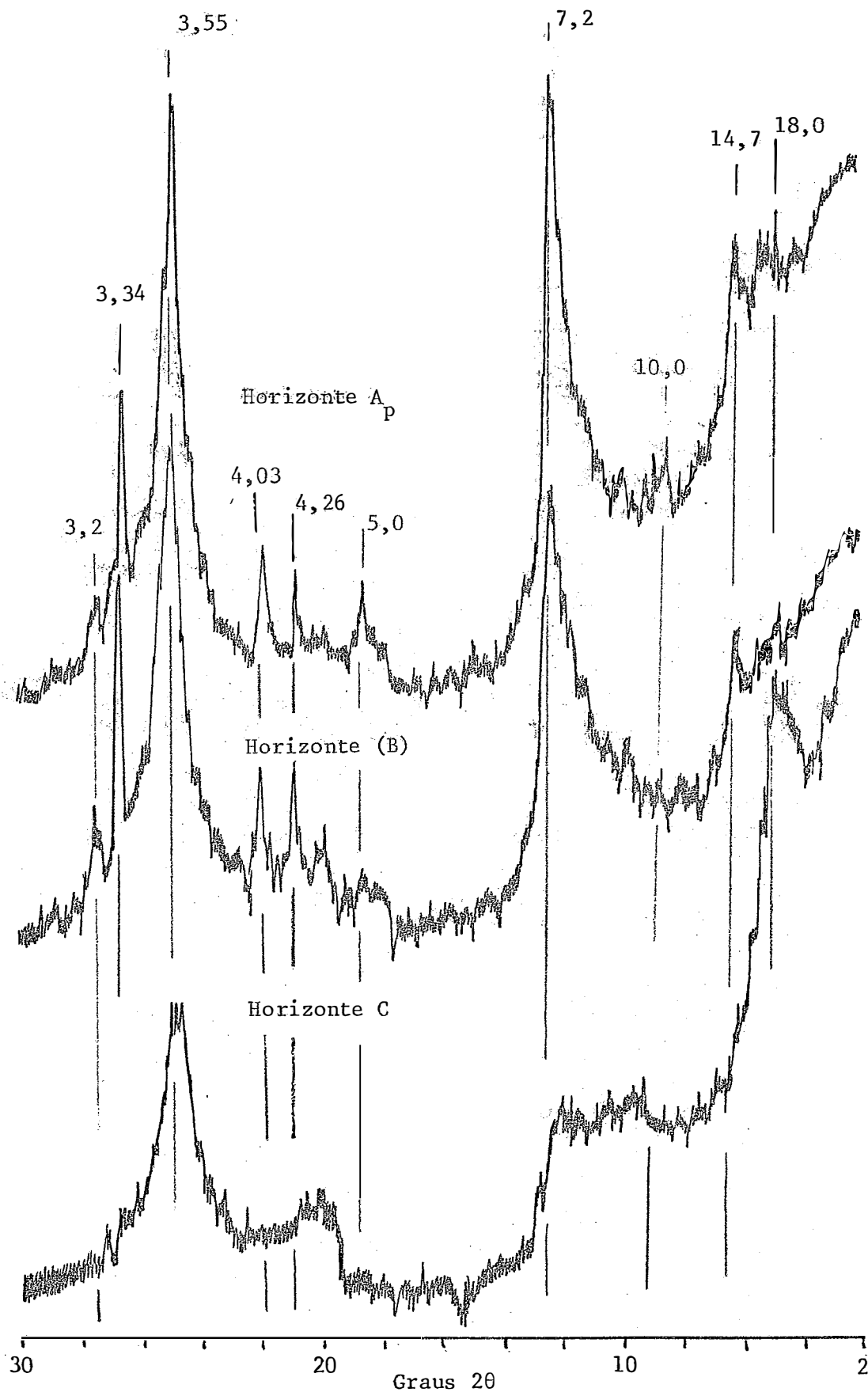


Figura 18 - Difratoograma da fração argila saturada com magnésio e glicolada dos horizontes do perfil 2.

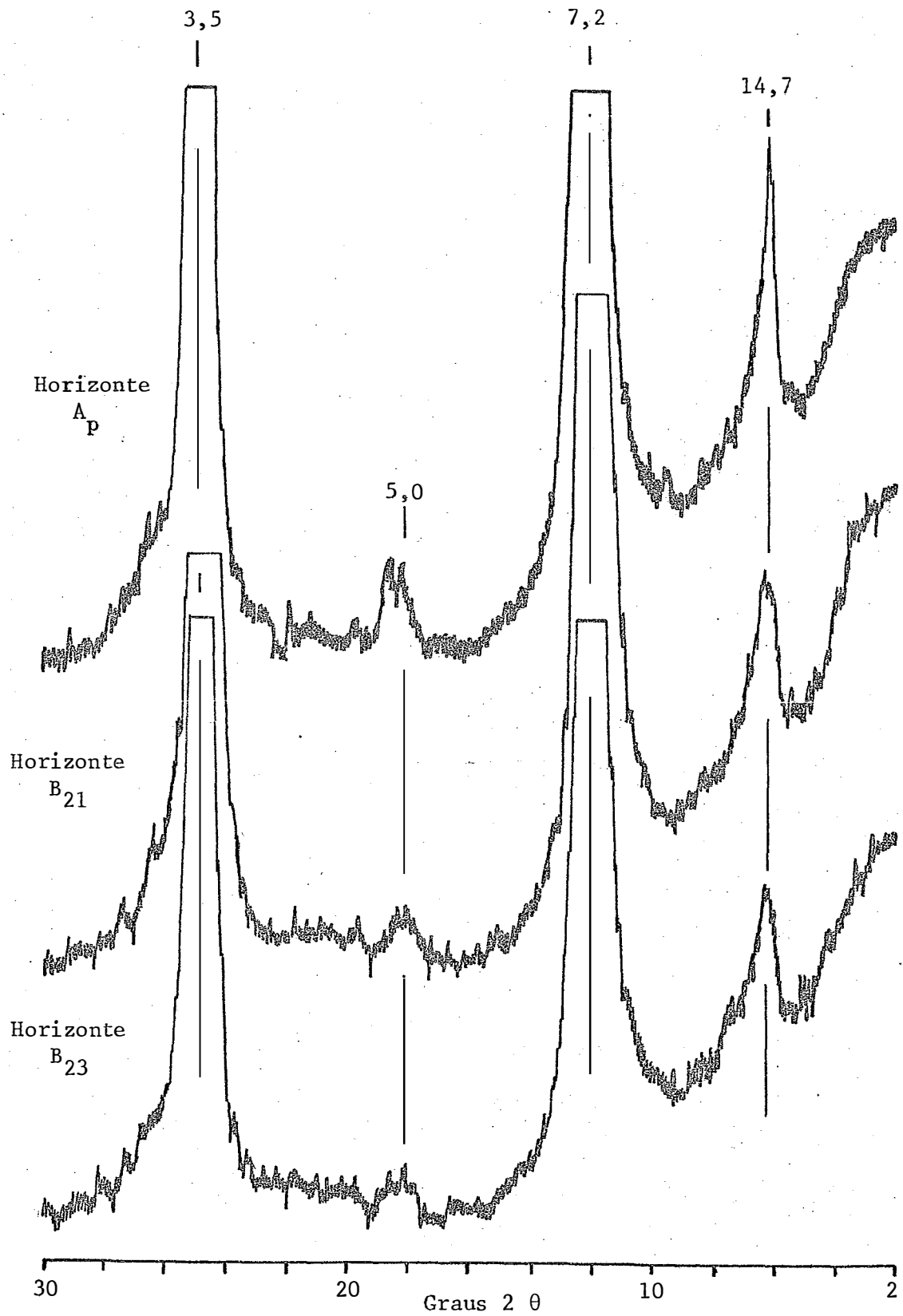


Figura 19 - Difratoograma da fração argila saturada com K^+ de horizontes selecionados do Perfil 4.

6.6. Óxidos de ferro, alumínio e manganês

Nas Fig. 20 e 21 e Quadro 7 (Apêndice) são apresentados os resultados referentes aos óxidos extraídos seletivamente pelo ditionito-citrato de sódio (Fe_d , Al_d , Mn_d), por oxalato de amônio (Fe_o , Al_o , Mn_o) e pelo pirofosfato de sódio (Fe_p , Al_p , Mn_p).

Autores como MCKEAGUE *et alii* (1971), MCKEAGUE e DAY (1966) e BASCOMB (1968), consideram que o ditionito extrai predominantemente óxidos de Fe, Al e Mn livres (cristalinos e amorfos), o oxalato extrai principalmente óxidos desses elementos na forma amorfa, enquanto que o pirofosfato dissolve os óxidos ligados aos compostos orgânicos.

As relações entre as diversas formas de Fe, Al e Mn estão apresentadas nos Quadros 8, 9 e 10 (Apêndice), respectivamente.

Preliminarmente serão discutidos a distribuição e o comportamento das diversas formas de Fe, Al e Mn em cada perfil. Finalizando, procurar-se-á examinar comparativamente os resultados entre os solos das superfícies I e II.

- Ferro

Examinando-se inicialmente os óxidos de ferro extraídos pelo ditionito (Fe_d), verifica-se no perfil I que os

valores máximos estão no horizonte A. Isto é, provavelmente, devido a um intemperismo mais intenso no horizonte considerado ocasionando um maior desprendimento de ferro dos silicatos (BLUME e SCHWERTMANN, 1969). Os resultados do ataque sulfúrico (Quadro 5) e o decréscimo dos teores de montmorilonita no horizonte A, sugerido pelos difratogramas (Fig. 6 e 7), também confirmam esta observação. O conteúdo de Fe_D decresce no horizonte C deste mesmo perfil, refletindo um enfraquecimento na intensidade do intemperismo. Tal fato pode ser confirmado através dos valores de ΔFe (BIGHAM *et alii*, 1978), que diminuem em superfície indicando menor quantidade de ferro ligado à estrutura dos silicatos.

O Fe_O exibe distribuição semelhante ao Fe_D , porém com teores menores. A concentração de Fe_O em superfície relaciona-se com os elevados teores de carbono o qual, de acordo com SCHWERTMANN *et alii* (1968), inibe a cristalização dos óxidos de ferro.

No perfil 2 o Fe_D apresenta um máximo no horizonte (B), a relação argila/ Fe_D exibe a mesma distribuição, sugerindo que a migração do ferro, se realmente ocorre, é independente da argila. Os valores de ΔFe aumentam com a profundidade mostrando que o ferro ligado aos silicatos se eleva no mesmo sentido. Conseqüentemente, o intemperismo diminui de intensidade em subsuperfície.

O Fe_O tem uma distribuição vertical semelhante

ã observada no perfil 1 sendo, portanto, válida a mesma explicação.

O perfil 3 apresenta um máximo de Fe_D no horizonte B. A relação Fe_D /argila sugere comportamento semelhante ao perfil 2.

O Fe_O também apresenta distribuição similar à argila. SINGER (1977) observou situação análoga em solos derivados de basalto, considerando como uma migração dos óxidos de ferro amorfos juntamente com a argila. A relação argila/ Fe_O , mantendo-se constante ao longo do perfil, é uma indicação de que essa possibilidade seja verdadeira (JUO *et alii*, 1974; STONEHOUSE e ARNAUD, 1971).

No perfil 4 o Fe_D aumenta em profundidade, indicando maior quantidade de ferro livre em subsuperfície. A mesma tendência foi observada em relação ao ferro extraído pelo ataque sulfúrico (Quadro 5). O Fe_O diminui nesse mesmo sentido. O elevado teor de Fe_O na superfície, coincidindo com menores teores de Fe_D , revela retardamento na cristalização do ferro provocado pelo elevado teor de matéria orgânica, como já foi observado para os perfis 1 e 2. Os valores de ΔFe são praticamente constantes e inferiores aos demais perfis, o que vem a indicar que, no perfil 4, a maior parte dos compostos de ferro estão como óxidos e hidróxidos (BIGHAM *et alii*, 1978).

Os óxidos de ferro extraídos pelo pirofosfato (Fe_p) apresentam teores máximos na superfície de todos os solos e aumentam no sentido da superfície I para a superfície II da mesma forma que os teores de carbono (Quadro 4), o que pode ser tomado como evidência do seu estreito relacionamento com este elemento.

- Alumínio

O Al_d apresenta teores mais elevados na superfície do perfil 1, decrescendo bruscamente no horizonte C. O inverso se verifica com o alumínio total (Al_t) e Al_o , indicando maior grau de intemperismo em superfície. A relação Al_o/Al_d (SINGER, 1977) aumenta com a profundidade, confirmando que o alumínio na forma cristalina decresce no mesmo sentido.

No perfil 2 ocorre um aumento em profundidade de Al_d e Al_t , enquanto que a relação Al_o/Al_d decresce de forma a sugerir baixo grau de cristalização na camada superficial. O Al_o apresenta um pequeno acréscimo no horizonte (B), o que está possivelmente relacionado com a maior porcentagem de argila no mesmo.

No perfil 3 o teor máximo de Al_d e Al_o ocorre no horizonte B, coincidindo com uma alta relação Al_o/Al_d , sugerindo uma possível migração desses elementos juntamente com a argila.

No perfil 4 constata-se que os conteúdos máximos de Al_d e Al_o ocorrem em superfície. Tendência contrária dá-se com o Al_t . A relação Al_o/Al_d também é mais alta em superfície, sugerindo possível influência da matéria orgânica na inibição da cristalização dos óxidos de alumínio.

De maneira similar ao que foi observado para o Fe_p , também em relação ao Al_p verifica-se comportamento semelhante.

- Manganês

Todas as formas de Mn (Mn_d , Mn_o , Mn_p) possuem conteúdos máximos nos horizontes superficiais e diminuem no sentido da superfície II. De acordo com BLUME e SCHWERTMANN (1969), devido ser esse elemento um nutriente para as plantas, é de se esperar uma acumulação pelas mesmas na superfície do solo.

Da comparação entre os solos das duas superfícies em relação aos óxidos de Fe, Al e Mn em suas diferentes formas, ficam evidenciadas determinadas tendências generalizadas.

O Fe_d aumenta da superfície I para a superfície II. O mesmo ocorre com o Al_d , porém com valores acentuadamente menores (Fig. 22A). Este comportamento é uma provável indicação de que o grau de cristalinidade dos óxidos de Fe e Al aumenta à medida que os solos se tornam mais intemperizados

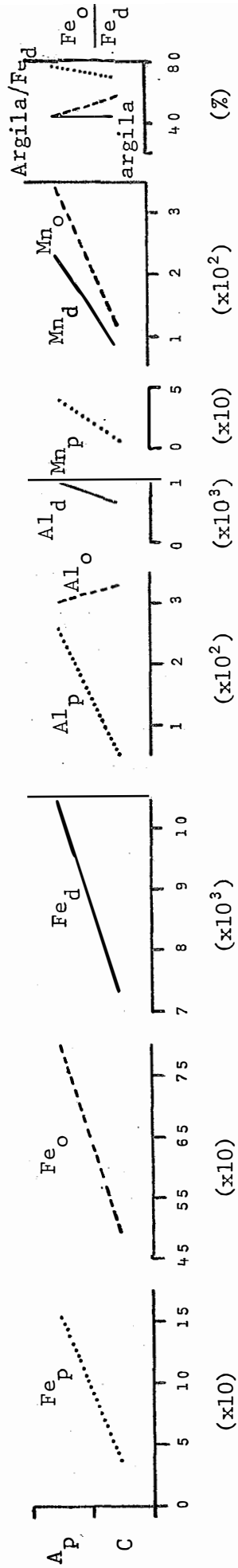
(ALEXANDER, 1974; DEMATTÊ e HOLOWAYCHUCK, 1977). O Fe_d e o Fe_t possuem valores muito próximos na superfície II, ao passo que os valores de Al_d são muito menores que os de Al_t (Fig. 22 D). Isto pode ser interpretado como indicação de que, na superfície considerada, a maior parte do ferro está livre e que a maior proporção do alumínio ainda permanece ligado à estrutura dos silicatos. No presente caso, esse silicato é predominantemente a caulinita.

Tendência oposta verifica-se em relação ao Fe_o e Al_o (Fig. 22 B), os quais decrescem em direção ao solo da superfície mais antiga. Por conseguinte, ocorre, também, um decréscimo no grau de atividade dos óxidos, o que é confirmado pelas relações Fe_o/Fe_d e Al_o/Al_d (Fig. 22 E) que também diminuem.

Em relação ao Fe_p e Al_p (Fig. 22 C), ocorre um aumento da superfície recente para a mais antiga, relacionando-se com os teores de carbono, que se elevam no mesmo sentido.

O manganês apresenta um decréscimo na superfície II indicando grande mobilidade do elemento em todas as suas formas (Quadro 10).

Perfil 1



Perfil 2

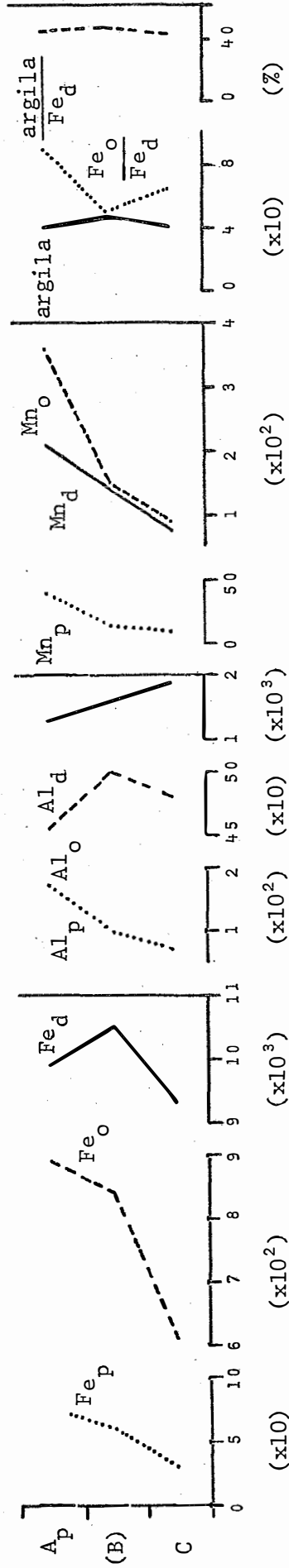
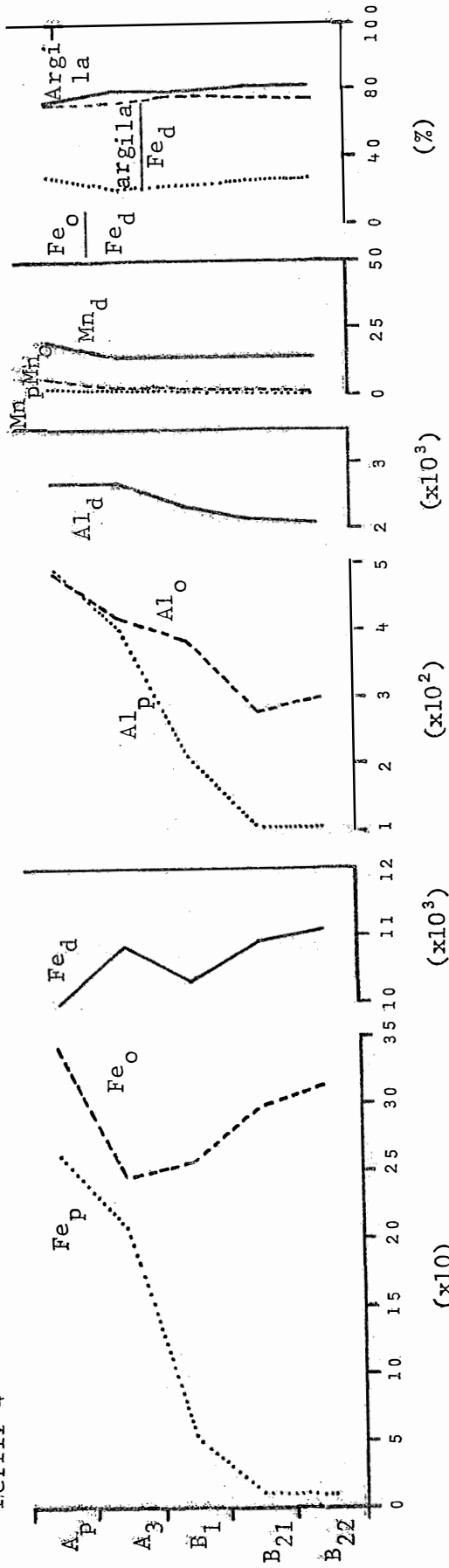


Figura 20 - Distribuição em profundidade dos óxidos de Fe, Al e Mn (mg/100 g de solo), argila (%), relações Fe_o/Fe_d e argila/ Fe_d nos perfis 1 e 2.

Perfil 4



Perfil 3

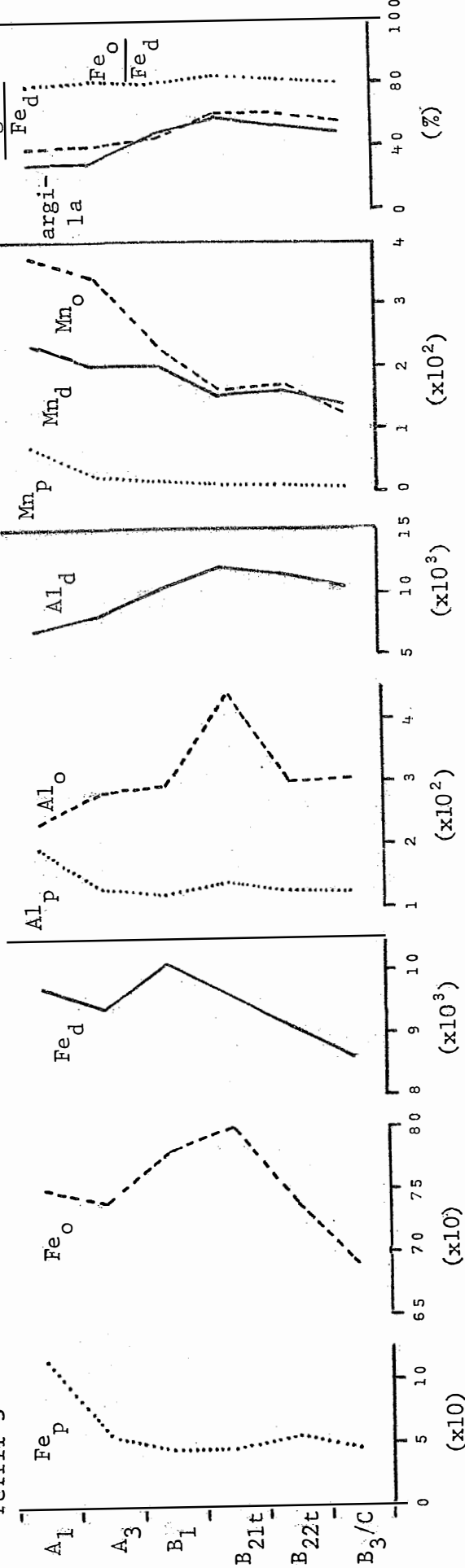


Figura 21 - Distribuição em profundidade dos óxidos de Fe, Al e Mn (mg/100 g de solo), argila (%), relações Fe_o/Fe_d e argila/Fe_d nos perfis 3 e 4.

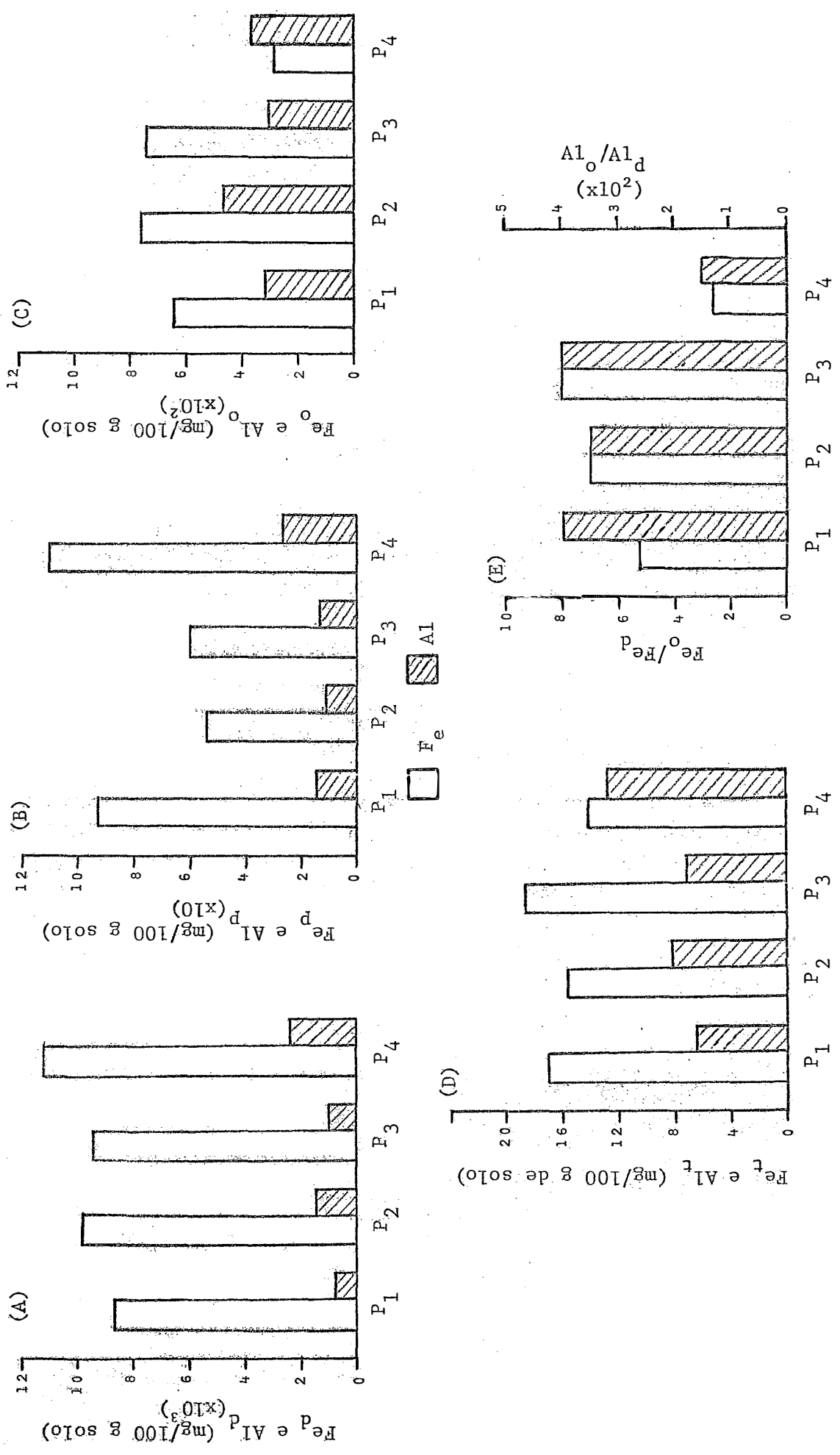


Figura 22 - Variação dos teores de Fe e Al nos perfis estudados. A) Fe_d e Al_d ; B) Fe_p e Al_p ; C) Fe_o e Al_o ; D) Fe_t e Al_t ; E) Fe_o/Fe_d e Al_o/Al_d .

7. CONCLUSÕES

A metodologia empregada permitiu constatar que a sequência estudada é constituída por duas superfícies fisiográficas distintas: a mais recente (Superfície I), muito dissecada e instável, localiza-se na posição mais baixa, em relevo forte ondulado a montanhoso; e a outra, mais antiga e estável (Superfície II), situa-se em posição mais elevada, em um relevo suave ondulado.

Ocorrem dois conjuntos de solos nessas superfícies: o primeiro representado pelo Solo Litólico, Cambissol e Brunizem Avermelhado (Superfície I) e o segundo pelo Latossolo Bruno (Superfície II).

Verifica-se um relacionamento entre as características pedológicas e a localização dos solos na paisagem: os solos menos desenvolvidos e eutróficos estão situados na superfície mais recente (Superfície I), enquanto que o solo mais

desenvolvido e álico situa-se na superfície considerada mais antiga (Superfície II).

A presença de horizontes de subsuperfície, em diversos estágios de evolução, relaciona-se com o relevo movimentado da superfície I, enquanto que o horizonte B latossólico relaciona-se com o relevo suave ondulado da superfície II.

A predominância de minerais de argila 2:1 nos solos da superfície I e da caulinita no solo da superfície II está relacionada com a maior ou menor estabilidade destas superfícies.

As formas cristalinas de ferro e alumínio dominaram em todos os perfis e aumentam em direção ao solo mais desenvolvido indicando intemperismo e lixiviação crescentes.

8. SUMMARY

Four soil profiles derived from basic rock and occurring in a toposequence in the SW region of Paraná State were selected for a study having as main objectives their characterization, the determination of their mutual relationships and their relations with the associated fisiografic surfaces.

Two distinct physiographic surfaces occur in the area:

Surface I - more recent, highly dissected and unstable, located in the lower segment of the sequence and with a strongly sloping or hilly relief, and

Surface II - older and more stable, located in the upper part of the area and with a gently undulating relief.

The four profiles were characterized as to

their morphology, chemical and mineralogical characteristics, particle-size distribution, clay-fraction mineralogy and Fe, Al and Mn oxides content.

The pedological characteristics of the soils indicated a relationship with their respective positions in the landscape. The less developed soils classified as Litholic, Cambisol, and Reddish Brunizem occur on surface and have subsurface horizons in various stages of development related to the surface's relief.

A more developed soil, identified as Brown Latosol, occurs on surface II thus indicating a relationship between the latossolic B horizon and the gently undulating relief of the older surface.

The soils occurring in the more recent surface are eutrophic and their high CEC is related to the presence of 2:1 clay minerals. The soil in the older surface is allic with low CEC value related to its higher percentage of 1:1 minerals.

The clay fraction of the soils in the more recent surface was composed of kaolinite, amorphous materials and montmorillonite whereas for the one in the older surface it was predominantly composed of kaolinite and amorphous.

Using the kaolinite content as a weathering criteria the soils were ordered from less to more developed as

follows: Lithosol - Cambisol - Reddish Brunizem and Brown Latosol.

Sand and silte content decreased whereas clay content increased towards the more developed soils. The same behavior was observed for cristalline iron and aluminum components which were predominant in the profiles studied.

9. LITERATURA CITADA

- ALEXANDER, E.B. 1974. Extractable iron in relation to soil age on terraces along the Truckee River, Nevada. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 38:121-124.
- ALEXIADES, C.A. e M.L. JACKSON. 1966. Quantitative clay mineralogical analysis of soils and sediments. *In: Proc. 14th Nat. Conf. on Clays and Clay Minerals*, pp.35-52. Pergamon Press, Oxford.
- ALMEIDA, F.F.M. 1956. O Planalto Basáltico da Bacia do Paraná. *Bol. Paul. de Geografia*, São Paulo, 24:3-33.
- BASCOMB, C.D. 1968. Distribution of pyrophosphate-extractable iron and organic carbon in soils of various groups. *J. Soil Sci.*, Edinburgh, 19:251-268.

- BIGHAM, J.M.; D.C. GOLDEN; L.H. BOWEN; S.W. BUOL e S.B. WEED. 1978. Iron oxide mineralogy of well-drained Ultisols and Oxisols: I- Characterization of Iron oxides in soil clays by Mossbauer Spectroscopy, X-Ray Diffractometry, and selected chemical Techniques. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, Madison, 42:816-825.
- BLUME, H.P. e U. SCHWERTMANN. 1969. Genetic evaluation of profile distribution of aluminum, iron and manganese oxides. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 33:338-444.
- BRASIL. Serv. Nac. de Pesq. Agronômicas. Comissão de Solos. 1960. *Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo*. Ministério da Agricultura, CNEPA. (Boletim, 12).
- BRASIL. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. 1972. *Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Oeste do Estado do Paraná*. Curitiba, PR. (Boletim Técnico, 39).
- BRASIL. Divisão de Pesquisa Pedológica. Divisão de Agrologia. 1973a. *Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado de Pernambuco*. Recife. (Boletim Técnico, 26).
- BRASIL. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. 1973b. *Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul*. Recife. (Boletim Técnico, 30).

- BRASIL. Superintendência do Desenvolvimento da Região Sul. Univ. Federal de Santa Maria. 1973c. *Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de Santa Catarina*. Santa Maria.
- BRASIL. Centro de Pesquisa Pedológica. Divisão de Recursos Renováveis. 1975a. *Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado de Sergipe*. Recife. (Boletim Técnico, 36).
- BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro de Pesquisas Pedológicas. 1975b. *Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Sudoeste do Estado do Paraná*. Curitiba. (Boletim Técnico, 44).
- *BRASIL. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. 1975c. *Mapa Esquemático dos Solos das regiões Norte, Meio-Norte e Centro-Oeste do Brasil*. Rio de Janeiro. (Boletim Técnico, 17).
- BRASIL. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Divisão de Recursos Renováveis. 1977. *Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos da margem direita do Rio São Francisco - Estado da Bahia*. Recife. (Boletim Técnico, 52).
- BRINDLEY, G.W. 1955. Identification of clay minerals by X-ray diffraction analysis. In: Proc. 1th Nat. Conf. on Clay Technology, pp.119-129. Department of Natural Resources, San Francisco.

- BUOL, S.W., S.D. HOLE e R.J. McCRAKEN. 1973. *Soil genesis and classification*. Ames, Iowa State University Press. 360p.
- CARVALHO, A. e R.F. MONTGOMERY. Estudo de uma ocorrência de Terra Roxa Estruturada e Latossolo Roxo numa sequência topográfica, no Estado de São Paulo. *In: Congr. Bras. Ci. Solo*, 13º, Vitória. 1971. Rio de Janeiro. 1973. Resumos.
- CASTRO, A.P.; W.O. BARRETO e M.L.A. ANASTÁCIO. 1972. Correlação entre pH e saturação de bases de alguns solos brasileiros. *Pesq. Agropec. bras., sér. Agron.*, Depart. Nac. Pesq. Agropec., 7:9-17.
- CATANI, R.A. e J.R. GALLO. 1955. Avaliação da exigência em calcário dos solos do Estado de São Paulo mediante correlação entre pH e a porcentagem de saturação em bases. *R. da Agric.*, Piracicaba, 30:49-60.
- CORDANI, U.G. e P. VANDOROS. 1971. Basaltic rocks of the Paraná Basin. Problems on Gondwana Geology. *In: Congr. Bras. Geol.*, XXV. Anais, Soc. Bras. Geol., pp.207-231.
- COSTA LIMA, V. 1979. *Caracterização e classificação de solos derivados de Eruptivas Básicas no Terceiro Planalto Paranaense*. Tese de Doutorado, Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz". Piracicaba, SP., Brasil. (inédito).
- DANIELS, R.B.; E.E. GAMBLE e J.G. CADY. 1971. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. *Adv. in Agronomy*, New York, 23:51-89.

- DEMATTE, J.L.I. e N. HOLOWAYCHUK. 1977. Solos da região de São Pedro, Estado de São Paulo. II- Mineralogia. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 1:99-103, maio/dez.
- DIXON, J.B. 1966. Quantitative analysis of kaolinite and gibbsite in soils by differential thermal and selective dissolution methods. *In: Proc. 14th Conf. on Clays and Clay Minerals*, pp.83-98. Pergamon Press, Oxford.
- DUDAS, J.J. e M.E. HARWARD. 1971. Effect on dissolution treatments on standard and soil clays. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 35:134-140.
- DUCHAUFOUR, P. 1977. *Pédogenèse et classification*. Masson, Paris. 477p.
- FARIAS, J.G.; N. KAMPF e M.C.L. dos SANTOS. Caracterização mineralógica de solos da Assoc. Julio de Castilhos - Guasupí, no Est. do Rio Grande do Sul. *In: Congr. Bras. Ci. Solo*, 14º, Santa Maria, RS., 1973, Anais. Soc. Bras. Ci. Solo, Santa Maria, 1974, pp.648.
- GUIDICINI, G. e J.O. CAMPOS. 1968. Notas sobre a morfogênese dos derrames basálticos. *Bol. Soc. bras. Geologia*, São Paulo, 17:15-28.
- HOLMGREN, G.S. 1967. A rapid citrate-dithionite extractable iron procedure. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 31:210-211.

- HOLZMANN, M. 1977. *Contribuição ao estudo do clima do Paraná*. Curitiba, PR. 60p. (mimiografado).
- JACKSON, M.L.; S.A. TYLER; A.L. WILLIS; G.A. BORBEAU e R.P. PENNINGTON. 1948. Weathering sequence of clay-size minerals in soils and sediments. *The Jour. of Phys. and Coll. Chem.*, Washington, D.C., 52:1237-1261.
- JACKSON, M.L. 1956. *Soil Chemical Analysis*. Advanced Course. Publicado pelo autor, Dept. of Soils, Univ. of Wis. 991p.
- JACKSON, M.L. 1964. Clay transformations in soil genesis during the quaternary. *Soil Sci.*, New Brunswick, 99:15-22.
- JACKSON, M.L. 1967. Chemical composition of soils. In: BEAR, F.E. (ed.). *Chemistry of the soil*. New York, pp.71-141.
- JUO, A.S.R.; F.R. MOORMANN e H.O. MADUAKOR. 1974. Forms and pedogenetic distribution of extractable iron and aluminum in selected soils of Nigeria. *Geoderma*, Amsterdam, 11:167-174
- KÄMPF, N. e E. KLAMT. 1978. Mineralogia e gênese de Latossolos (oxisols) e solos Podzólicos da região nordeste do Planalto Sul-Riograndense. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 1:68-73, jan./abr.

- KLAMT, E. e M.T. BEATTY. 1972. Gênese duma sequência de solos da região do planalto médio Riograndense. *Pesq. Agropec. bras., sér. Agron.* Depart. Nac. Pesq. Agropec., 7:99-109.
- LEINZ, V. 1949. Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil. *Geologia*, São Paulo, 5. 61p.
- LEINZ, V.; A. BARTORELLI, G.R. SADOWSKI e A.L. ISOTTA. 1966. Sobre o comportamento espacial do Trapp Basáltico da Bacia do Paraná. *Bol. Soc. bras. Geologia*, São Paulo, 15:79-91.
- LEPSCH, I.F. e S.W. BUOL. 1974. Investigations in an Oxisol-Ultisol toposequense in São Paulo State, Brazil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 38:491-496.
- LEPSCH, I.F.; S.W. BUOL e R.B. DANIELS. 1977. Soil landscape relations in an area of the Occidental Plateau of São Paulo, Brazil. II- Soil Morphology, Genesis, and Classification. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, Madison, 41:109-114.
- MAACK, R. 1968. *Geografia Física do Estado do Paraná*. Publicado sob os auspícios do Banco de Desenvolvimento do Paraná (sucessor da CODEPAR), da Univ. Fed. do Paraná e do Inst. de Biol. e Pesq. Tecnológicas. Curitiba, PR., 350p.

- MCKEAGUE, J.A. e J.H. DAY. 1966. Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils. *Can. J. Soil Sci.*, Ottawa, 46:13-22.
- MCKEAGUE, J.A. 1967. An Evaluation of 0,1 M pyrophosphate and pyrophosphate-dithionite in comparison with oxalate as extractable of the accumulation products in podzol and some other soils. *Can. J. Soil Sci.*, Ottawa, 47:95-99.
- MCKEAGUE, J.A.; J.E. BRYDON e N.M. MILES. 1971. Differentiating of forms extractable iron and aluminium in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 35:33-38.
- MEHRA, O.P. e M.L. JACKSON. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. In: Proc. 7th Nat. Conf. on Clays and Clay Minerals, pp.317-327. Pergamon Press, New York.
- MEKARU, T. e G. UEHARA. 1972. Anion adsorption in Ferruginous Tropical. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 36:296-300.
- MELFI, A.J. e F. LEVI. 1971. Geochemical and mineralogical study on the first stages of weathering of Basic and Related Rocks. Part I - Mineralogical study. *R. bras. Geociencias*, São Paulo, 1:22-28.

MONIZ, A.C. e M.L. JACKSON. 1967. *Quantitative mineralogical analysis of Brazilian Soils derived from basic rocks and slate*. Madison. University of Wisconsin, 74p. (Wisconsin Soil Sci. Report, 212).

MONIZ, A.C. e A. CARVALHO. 1973. Sequência de evolução de solos derivados do Arenito Bauru e rochas básicas da região noroeste do Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, 32:309-335.

MONIZ, A.C. e J.B. de OLIVEIRA. Estudo mineralógico de solos derivados de rochas ígneas básicas da Estação Experimental de Ribeirão Preto. In: Congr. Bras. Ci. Solo, 14º, Santa Maria, RS., 1973, Anais, Soc. Bras. Ci. Solo, Santa Maria, 1974, pp.591-600.

MONIZ, A.C.; S.S. ANDRADE, K.P. WITTERN e E.M. MOURA. Sequência de evolução de solos originados de rochas calcio-dolomíticas da Serra da Bodoquena, MT. In: Congr. Bras. Ci. Solo, 15º, Campinas, SP., 1975, Anais, Soc. Bras. Ci. Solo, Campinas, 1976, pp.499-507.

NORRISH, K. e R.M. TAYLOR. 1961. The isomorphous replacement of iron by aluminium in soil goethites. *J. Soil Sci.*, Ottawa, 12:294-306.

QUEIROZ NETO. 1969. *Interpretação dos solos da Serra de Santana para fins de classificação*. Tese de Doutorado. Esc. Sup. de Agric. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP., Brasil. 123p. (mimiografado).

- RAIJ, B. van; M.T.D. SACCHETTO e T. IGUE. 1968. Correlações entre o pH e o grau de saturação em bases nos solos com horizonte B textural e horizonte B latossólico. *Bragantia*, Campinas, 27:193-200.
- SARTORI, P.L.; C.M. FILHO e E. MENEGOTTO. 1975. Contribuição ao estudo das rochas vulcânicas da Bacia do Paraná na região de Santa Maria, RS. *R. bras. Geociências*, São Paulo, 5:141-159.
- SCHNEIDER, A.W. 1970. Vulcanismo basáltico da Bacia do Paraná: Perfil Foz do Iguaçu - Serra da Esperança. *In: Congr. Bras. de Geol., XXIV. Anais, Soc. Bras. Geol., Brasília, pp.211-217.*
- SCHWERTMANN, U.; W.R. FISCHER e H. PAPENDORF. 1968. The influence of organic compounds on the formation of iron oxides. *In: Proc. 9th Intern. Congress of Soil Sci. Adelaide, Austrália. Transactions, pp.645-655.*
- SCHWERTMANN, U. e R.M. TAYLOR. 1977. Iron oxides. *In: SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA (ed.). Minerals in soil environments, Madison.*
- SINGER, A. 1977. Extractable sesquioxides in six Mediterranean soils developed on basalt and scoria. *J. Soil Sci., Edinburgh, 28:125-135.*

- STONEHOUSE, H.B. e R.J. St. ARNAUD. 1971. Distribution of iron, clay and extractable iron and aluminium in some Saskatchewan soils. *Can. J. Soil Sci.*, Ottawa, 51:283-292.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. 1973. *Manual de Métodos de trabalho de campo*. Rio de Janeiro. 33p.
- THIESEN, A.A. e M.E. HARWARD. 1962. A Paste Method for Preparation of slides for clay mineral identification by X-Ray diffraction. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, Madison, 26:90-91
- VAN WANBEKE, A. 1962. Criteria for classifying soils by age. *J. Soil Sci.*, Edinburgh, 13:124-132.
- VETTORI, L. 1969. *Métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 24p. (Boletim Técnico, 7).
- VOLKOFF, B. 1978. Os produtos ferruginosos que determinam a cor dos Latossolos da Bahia. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 1:55-58, jan./abr.
- WARSHAW, M.C. e R. ROY. 1963. Classification and a scheme for identification of layers silicates. *Bol. Geol. Soc. Am.*, New York, 72:1455-1492.

10. APÊNDICE

Quadro 7 - Teores de Fe, Al e Mn extraídos com pirofosfato de sódio (p), oxalato de amônio (o) e ditonito de sódio (d)

HORIZONTES	Fep	Feo	Fed	Alp	Alp	Alp	Alp	Alp	Alp	Mnp	Mno	Mnd
	mg/100 g de solo											
Perfil 1												
<u>Solo Litólico</u>												
Ap	152	800	10.400	255	315	1.000	37	343	230			
C	34	491	7.350	54	336	656	7	114	83			
Perfil 2												
<u>Cambissol</u>												
Ap	75	890	9.900	170	453	1.347	41	328	219			
(B)	57	840	10.550	106	501	1.640	14	151	146			
C	31	610	9.300	73	482	1.693	9	93	74			

Continua.....

Quadro 7 - Teores de Fe, Al e Mn extraídos com pirofosfato de sódio (p), oxalato de amônio (o) e ditonito de sódio (d)

continuação

HORIZONTES	Fep	Feo	Fed	Alp	Al _o	Al _d	Mnp	Mno	Mnd
	mg/100 g de solo								
Perfil 3									
Brunizem Avermelhado									
A1	114	748	9.710	188	233	684	72	371	227
A3	57	739	9.380	129	278	819	25	341	199
B1	46	777	10.100	119	291	1.038	14	229	201
B21t	45	804	9.620	139	438	1.180	10	158	155
B22t	54	749	9.100	125	302	1.156	11	168	165
B3/C	44	685	8.600	125	304	1.075	6	125	134
Perfil 4									
Latossol Bruno									
Ap	262	341	10.000	489	486	2.713	2	4	21
A3	207	245	10.800	403	415	2.681	<1	2	15
B1	52	254	10.300	213	381	2.358	<1	3	15
B21	14	297	10.900	111	277	2.141	<1	1	15
B22	12	312	11.100	111	298	2.111	<1	1	16

Quadro 8 - Relações entre as formas de ferro

HORIZONTES	_____ mg/100 g de solo _____				Δ Fe (Fet-Fed)	$\frac{Fe_o}{Fed}$	$\frac{\% \text{ Argila}}{Fed}$	$\frac{\% \text{ Argila}}{Fe_o}$ (x10 ³)
	Fep	Feo	Fed	Fet				
Perfil 1								
<u>Solo Litólico</u>								
Ap	152	800	10.400	17.700	7.300	77	4,3	56
C	34	491	7.350	16.100	8.700	67	5,8	109
Perfil 2								
<u>Cambissol</u>								
Ap	75	890	9.900	15.200	5.300	90	4,1	46
(B)	57	840	10.550	16.500	6.000	51	4,3	54
C	31	610	9.300	15.700	6.400	65	4,1	67

continua...

Quadro 8 - Relações entre as formas de ferro

continuação

HORIZONTES	Fep	Feo	Fed	Fet	$\frac{\text{Feo}}{\text{Fed}}$	ΔFe (Fet-Fed)	$\frac{\% \text{Argila}}{\text{Fed}}$	$\frac{\% \text{Argila}}{\text{Feo}}$
	mg/100 g de solo							
Perfil 3								
<u>Brunizem Avermelhado</u>								
A1	114	748	59.710	19.200	77	9.300	3,9	50
A3	57	739	9.380	20.200	79	10.900	4,0	51
B1	46	777	10.100	18.000	77	7.900	4,6	60
B21t	45	804	9.620	17.700	84	8.100	6,0	70
B22t	54	749	9.100	18.700	82	9.600	5,9	72
B3/C	44	686	8.600	17.700	80	9.100	5,7	71
Perfil 4								
<u>Latossol Bruno</u>								
Ap	262	341	10.000	12.700	34	2.700	7,4	217
A3	207	245	10.800	14.500	23	3.700	7,3	322
B1	52	254	10.300	14.700	25	4.400	7,7	314
B21	14	297	10.900	14.200	27	3.300	7,6	279
B22	12	312	11.100	14.200	28	3.100	7,5	266

Quadro 9 - Relações entre as formas de alumínio

HORIZONTES	Al _p	Al _o	Al _d	Al _t	$\frac{Al_o}{Al_d}$	$\frac{\Delta Al}{(Al_t - Al_d)}$
	mg/100 g de solo					
Perfil 1						
<u>Solo Litólico</u>						
Ap	255	315	1.000	7.600	315	6.600
C	54	336	656	7.900	512	7.244
Perfil 2						
<u>Cambissol</u>						
Ap	170	453	1.347	7.500	336	6.153
(B)	106	501	1.640	8.500	305	6.860
C	73	482	1.693	8.700	284	7.007

continua...

Quadro 9. - Relações entre as formas de alumínio

continuação	Al ^p	Al ^o	Al ^d	Al ^t	$\frac{Al^o}{Al^d}$	$\frac{\Delta Al}{(Al^t - Al^d)}$
HORIZONTES	mg/100 g de solo					
Perfil 3						
<u>Brunizem Vermelhad</u>						
A ₁	188	233	684	4.900	341	4.200
A ₃	129	278	819	5.300	339	4.480
B ₁	119	291	1.038	6.800	280	5.760
B _{21t}	139	438	1.180	7.900	371	6.720
B _{22t}	125	302	1.156	7.900	261	6.740
B _{3/C}	125	304	1.075	8.600	283	7.520
Perfil 4						
<u>Latossol Bruno</u>						
AP	489	486	2.713	12.200	179	9.490
A ₃	403	415	2.681	12.800	155	10.120
B ₁	213	381	2.358	12.700	161	10.340
B ₂₁	111	277	2.141	12.800 ^o	129	10.650
B ₂₂	111	298	2.111	13.200	141	11.100

Quadro 10 - Relações entre as formas de manganês

HORIZONTES	Mnp	Mno	Mnd	Mnt	$\frac{Mno}{Mnd}$	ΔMn (Mnt - Mnd)
	mg/100 g de solo					
Perfil 1						
<u>Solo Litólico</u>						
Ap	37	343	230	460	1.500	230
C	7	114	83	320	1.370	237
Perfil 2						
<u>Cambissol</u>						
Ap	41	328	219	440	1.500	221
(B)	14	151	146	250	1.030	109
C	9	93	74	180	1.257	106

continua...

Quadro 10 - Relações entre as formas de manganês.

HORIZONTES		Mn _p	Mn _o	Mn _d	Mn _t	$\frac{Mn_o}{Mn_d}$	ΔMn (Mn _t - Mn _d)
continuação		mg/100 g de solo					
Perfil 3							
<u>Brunizem Avermelhado</u>							
A1		72	371	227	520	1.630	293
A3		25	341	199	490	1.710	291
B1		14	229	201	380	1.140	179
B21t		10	158	155	300	1.020	145
B22t		11	168	165	300	1.090	135
B3/C		6	125	134	240	930	106
Perfil 4							
<u>Latossol Bruno</u>							
Ap		2	4	21	60	190	39
A3		1	2	15	50	130	35
B1		1	3	15	60	200	45
B21		1	1	15	50	66	35
B22		1	1	16	50	62	34