

Recebido em 26 de Outubro de 1976

# A utilização do método de Segalen na caracterização dos materiais amorfos de solos ocorrendo em climas temperados e tropicais (\*)

por

A. F. A. SANCHES FURTADO  
Licenciado em Ciências Geológicas

Com a colaboração técnica de

M. F. BARRAL  
Licenciada em Ciências Físico-Químicas

## INTRODUÇÃO

O estudo dos materiais amorfos ou fracamente cristalinos dos solos tem levantado numerosas dificuldades pois as técnicas normalmente utilizadas não permitiam a sua detecção. Para tentar resolver ou pelo menos atenuar as dificuldades verificadas diversos métodos de dissolução selectiva foram propostos por vários autores.

Assim as primeiras técnicas empregadas por Jeffries, Deb e Mehra e Jackson destinavam-se sobretudo à extracção de materiais ferruginosos. No entanto estes métodos não permitiam a separação do ferro cristalino do ferro amorfo, pois ambos eram atingidos pelos corres-

---

(\*) Trabalho realizado na Secção de Pedologia do Instituto Superior de Agronomia no âmbito do Projecto de Investigação Científica TLA/1, subsidiado pelo Instituto de Alta Cultura, em colaboração com o Centro de Estudos de Pedologia Tropical.

pondentes processos de dissolução. Possuem porém a vantagem (além da determinação do ferro livre) de serem um bom auxiliar na interpretação dos diagramas de raios X das amostras que contêm forte proporção de material ferruginoso. Efectivamente, a existência deste material pode perturbar grandemente a interpretação dos diagramas, o que em geral já não sucede quando se observam as mesmas amostras depois da extracção do ferro.

À medida que se foi adquirindo um melhor conhecimento do material constituinte dos diferentes solos, começou-se a verificar que além do material amorfo de natureza ferruginosa podiam aparecer, por vezes em quantidades elevadas, outros materiais amorfos mas de natureza silico-aluminosa. Tal constatação levou pedologistas belgas da escola de Louvain (Herbillon e Tran Vinh An, 1964) a proporem um método de dissolução selectivo (ensaiado sobre argilas de solos ferralíticos) que consiste num ataque a frio da amostra sucessivamente por  $H_2SO_4$  concentrado, HCl concentrado e NaOH 0,1 N. Algumas modificações foram posteriormente efectuadas sendo no entanto Segalen que aprofundou mais este assunto tendo proposto um método (Segalen, 1968) baseado no trabalho dos cientistas belgas que procurou adaptar a solos de variados tipos, em particular a solos ricos em alofanas.

O presente trabalho estuda, pelo método de Segalen, os constituintes amorfos de solos derivados de formações vulcânicas e ocorrendo sob climas temperados (Açores) e tropicais (S. Tomé e Angola).

## I. TÉCNICAS DE EXTRACÇÃO E DOSAGEM

### 1. EXTRACÇÃO

O método utilizado é o indicado por Segalen, consistindo em extracções alternadas com HCl 8 N e NaOH 0,5 N. A amostra em estudo é posta em contacto à temperatura ambiente com ácido clorídrico, seguindo-se uma lavagem com água destilada e por fim um tratamento com soda, em banho-maria a 100° C, durante 5 minutos.

Juntam-se os dois primeiros extractos, constituindo uma solução ácida em que se doseiam o ferro, o alumínio e o silício. Na solução alcalina doseiam-se o alumínio e a sílica.

Os tratamentos são repetidos oito vezes, tendo-se controlado algumas amostras aos raios X, quer depois de cada tratamento quer no

final dos oito tratamentos. Este controlo não evidenciou ataque significativo do material cristalino.

Em certos casos ensaiaram-se também concentrações diferentes das anteriores, de acordo com o proposto por Quantin e Lamouroux (1974). Assim no tratamento ácido empregou-se HCl 4 N e no básico NaOH 0,5 N e 0,1 N. Os resultados obtidos por esta técnica não diferiram significativamente dos referentes ao método de Segalen, pelo que, no presente trabalho, apenas se utilizaram estes últimos.

## 2. PRINCÍPIOS DA DOSAGEM

### *Ferro e alumínio*

Foram determinados por absorção atômica, tendo sido utilizado um espectrofotómetro Perkin-Elmer modelo 290-B.

### *Sílica*

Foi doseada reduzindo-se o complexo sílico-molibdico amarelo a complexo sílico-molibdico azul que é mais estável. As medições, expressas directamente em concentrações de  $\text{SiO}_2$ , foram realizadas no comprimento de onda de 650  $\mu\text{m}$  tendo-se utilizado um espectrofotómetro Digital Coleman.

## II. OS SOLOS ESTUDADOS

O material estudado diz respeito à fracção argilosa de solos situados em regiões sujeitas a climas variados e derivados de formações vulcânicas litologicamente diferentes.

Os solos dos Açores (ilhas de S. Miguel e Santa Maria) encontram-se sob climas temperados húmidos (A e B<sub>2</sub>, segundo Thornthwaite); os de S. Tomé e de Angola situam-se sob climas tropicais sub-húmidos e húmidos respectivamente (C<sub>2</sub> e B<sub>2</sub>, segundo Thornthwaite).

Todos estes solos são derivados de materiais vulcânicos (rochas basálticas, lapillis, cinzas vulcânicas e brechas vulcânicas) de idade que varia entre o Post-Pérmico (Angola) e o Actual (S. Miguel).

Os solos da ilha de S. Miguel são predominantemente *Andossolos*, embora se encontrem também, entre outros, *Solos pardo ândicos* (Ri-

cardo *et alt.*). No presente trabalho não se faz distinção entre estes dois tipos de solos. Consideramos apenas solos com argilas predominantemente alofânicas e solos com argilas fundamentalmente haloisíticas mas onde as alofanicas se encontram também em percentagens elevadas, baseando-nos em estudo anterior por nós realizado (Furtado, 1974/75).

Os solos de S. Maria, embora em fase adiantada de estudo, não estão ainda classificados. As argilas utilizadas neste trabalho são essencialmente constituídas por caulinite e/ou haloisite, associadas a pequenas quantidades de minerais micáceos e de montmorilonite.

Os solos de S. Tomé estão considerados como *Paraferralíticos* (Cardoso e Garcia, 1962), sendo as argilas essencialmente do tipo caulínico.

Finalmente os solos de Angola estudados estão incluídos nos *Ferralíticos* (Missão de Pedologia de Angola, 1961), sendo as argilas umas de natureza caulínica e outras caulínico-gibbíticas.

### III. MATERIAIS DISSOLVIDOS

#### 1. SOLOS ESSENCIALMENTE ALOFANICOS (S. MIGUEL)

##### *Dissolução da alumina*

Nos solos fortemente alofânicos a dissolução da alumina é extremamente importante logo na primeira extracção (na qual se extrai mais de 80 % do total). As curvas de dissolução (Fig. 1) mostram, em geral, uma inflexão rápida após a primeira extracção, tornando-se praticamente horizontais a seguir à segunda. As amostras 1134 M e 505 M apresentam no entanto curvas de dissolução com um aspecto um pouco diferente, pois nelas não se pode definir uma verdadeira plataforma; com efeito, depois da primeira extracção, bastante importante, verifica-se uma solubilização constante embora de quantidades relativamente menores.

A solubilização rápida da alumina, dada a ausência de gibsite (comprovada pela A. T. D. e difracção pelos Rx), mostra que se está em presença de uma importante quantidade de material amorfo, no

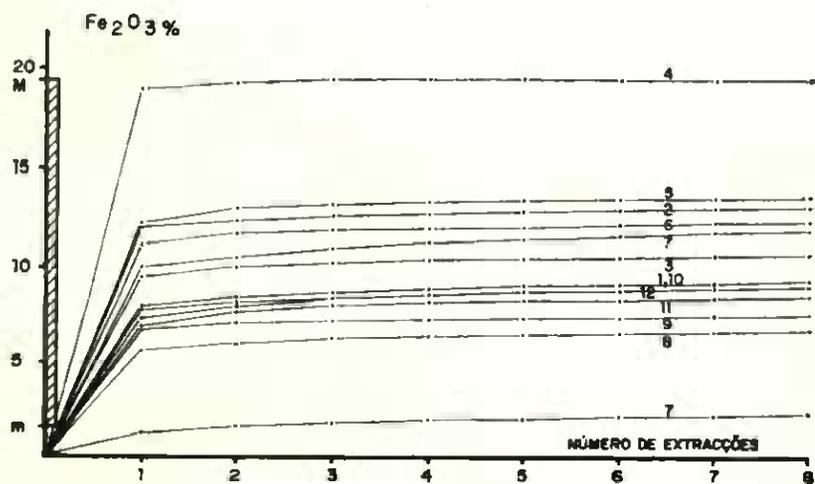
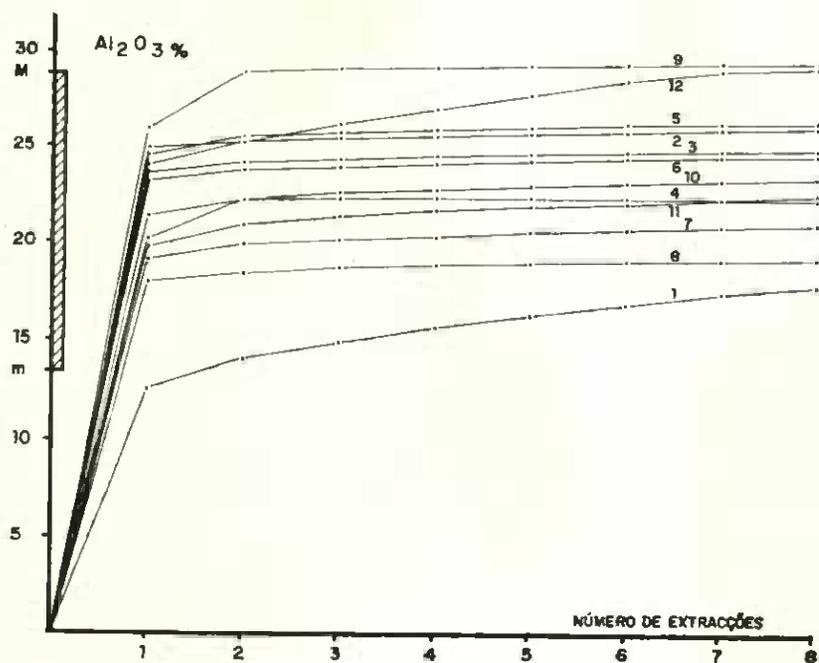
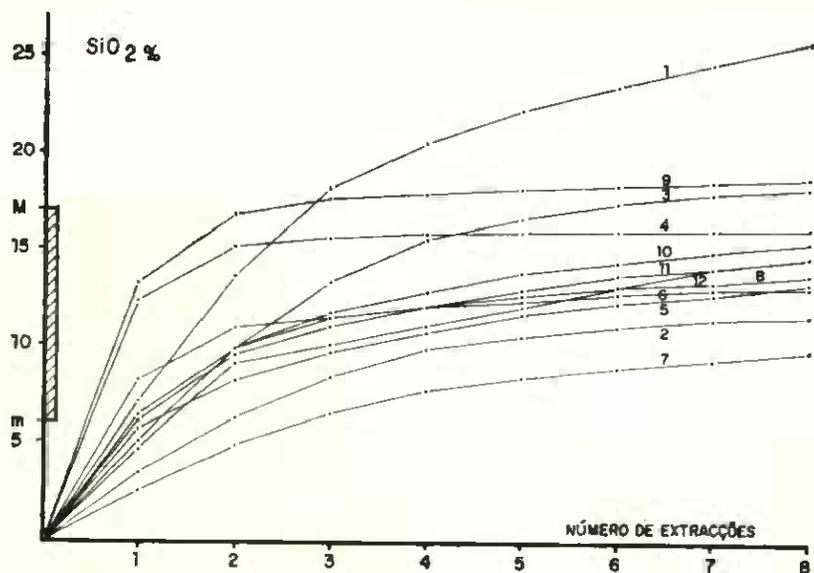


Fig. 1 — Curvas de extracção dos produtos amorfos das amostras 505M (1), 579M (2), 598M (3), 604M (4), 613M (5), 615M (6), 643M (7), 804M (8), 808M (9), 1092M (10), 1095M (11) e 1134M (12). Em abcissas marcam-se as quantidades máxima (M) e mínima (m), extraídas nas diferentes amostras

qual a alumina é um elemento importante. Comparando a alumina total de cada amostra com a alumina considerada como amorfa (Quadro I) <sup>(1)</sup>, verifica-se que esta representa cerca de 60 a 96 % do total.

QUADRO I—*Relações entre os elementos facilmente extraíveis (fe) e os elementos totais (t)*

Amostra	Elementos totais			Elementos facilmente extraíveis			Si (fe)	Al (fe)	Fe (fe)
	Si %	Al %	Fe %	Si %	Al %	Fe %	Si (t) %	Al (t) %	Fe (t) %
505 M	32,13	22,71	10,51	16,8	13,5	7,9	52,3	59,4	75,2
579 M	19,84	26,02	12,67	9,1	25,0	12,3	45,9	96,1	97,1
598 M	24,37	29,08	10,25	14,7	23,4	10,0	60,3	80,5	97,6
613 M	21,28	31,46	12,88	9,2	25,4	12,8	43,2	80,7	99,4
643 M	22,57	27,63	3,50	6,2	19,6	1,5	27,5	70,9	42,9
1092 M	27,15	29,25	9,90	11,1	22,0	8,6	40,9	75,2	86,9
1134 M	28,90	34,31	10,17	8,8	26,4	8,0	30,4	76,9	78,7

#### *Dissolução da sílica*

A solubilização da sílica é, ao contrário da da alumina, mais regular (com excepção das amostras 808 M, 604 M e 613 M), como se pode observar na Fig. 1. Apresenta no entanto a particularidade de ser muito mais acentuada nas três primeiras extracções, isto, aliás, para a grande maioria das amostras. A sílica considerada como amorfa representa, em geral, em relação à sílica total, valores inferiores aos da alumina — normalmente situa-se abaixo dos 60 %.

#### *Dissolução do ferro*

As curvas de solubilização do ferro (Fig. 1) nos solos alofânicos apresentam nítidas analogias com as da alumina. Efectivamente observa-se, em geral, depois da primeira extracção, uma inflexão nítida das

(1) Neste quadro assim como nos seguintes não aparecem todas as amostras representadas nos gráficos, pois fez-se uma selecção para a determinação dos elementos totais.

curvas. Os valores correspondentes ao ferro amorfo, comparados com os do ferro total na argila, mostram que este se encontra quase inteiramente no estado amorfo (Quadro I).

Na amostra 643 M a percentagem de ferro amorfo é bastante inferior, mas isso deverá resultar do baixo conteúdo daquele elemento na amostra, o que pode determinar um erro bastante grande.

### *Relação $SiO_2/Al_2O_3$*

A relação sílica/alumina dos produtos dissolvidos depois de cada extracção mostra que na primeira esse valor se situa entre 0,22 e 0,95 (não ultrapassando mesmo na maioria dos casos 0,40), subindo, em geral, nas extracções seguintes, para valores dez a cinquenta vezes superiores (Quadro II).

A relação  $SiO_2/Al_2O_3$  do total dos constituintes considerados amorfos é sempre inferior à da amostra total.

QUADRO II — *Relações moleculares  $SiO_2/Al_2O_3$  dos diferentes extractos, do material amorfo e da amostra total*

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	Amorfo	Total
505 M	0,95	8,00	9,26	5,38	4,67	3,64	4,20	3,60	2,11	2,40
579 M	0,22	12,00	17,50	12,50	11,00	8,00	6,00	4,00	0,62	1,29
598 M	0,34	14,00	30,50	17,50	9,50	12,00	8,00	6,00	1,07	1,42
613 M	0,38	3,91	12,50	9,00	8,00	4,50	4,00	4,00	0,61	1,15
643 M	0,22	5,43	9,33	10,00	5,50	4,50	4,00	6,00	0,54	1,39
1092 M	0,38	10,50	7,75	9,50	8,50	4,50	5,00	4,00	0,86	1,57
1134 M	0,40	4,67	7,75	6,00	5,00	5,00	3,67	4,50	0,57	1,62

### *Conclusões*

O ataque do material argiloso dos solos alofânicos mostra que existe uma importante fracção do material que é solubilizada.

A alumina e a sílica são dissolvidas fundamentalmente nas duas ou três primeiras extracções, embora a solubilização da sílica prosiga duma maneira contínua. O ferro mostra analogias com a alumina,

pois é extraído principalmente nas duas primeiras extracções, se bem que em percentagens muito superiores às da alumina.

A relação  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  do material considerado como amorfo, comparada com essa mesma relação nas diferentes extracções, parece mostrar que o material amorfo aluminoso é quase totalmente solubilizado na primeira extracção, pois, na maioria dos casos, os valores obtidos nas extracções seguintes elevam-se rapidamente. Isto querará dizer que a alumina amorfa é mais facilmente extraível do que a sílica amorfa, pois que a relação  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  do material amorfo total é em geral superior à da primeira extracção, na qual, como dissemos, se extrai a maioria da alumina.

A relação sílica/alumina do material amorfo é em todas as amostras (com excepção da 505 M) próxima ou inferior a 1, o que indica que o material amorfo é fundamentalmente de natureza aluminosa.

## 2. SOLOS PREDOMINANTEMENTE HALOISITICOS

(S. MIGUEL)

### *Dissolução da alumina*

As curvas de dissolução (Fig. 2) agrupam-se em dois conjuntos bem diferenciados: um dos conjuntos caracteriza-se por uma solubilização relativamente importante nas duas primeiras extracções, sem que no entanto se defina depois uma verdadeira plataforma; o outro corresponde a curvas em que a dissolução é gradual, não se notando com exactidão qualquer inflexão.

As quantidades de alumina considerada como amorfa oscilam entre 2 e 12 %, a que corresponde cerca de 6 a 41 % do total, situando-se no entanto a maioria abaixo dos 20 %.

### *Dissolução da sílica*

A solubilização da sílica parece muito mais gradual, como se observa na Fig. 2, embora nalgumas amostras as quantidades dissolvidas nas três primeiras extracções sejam mais elevadas. As percentagens de sílica amorfa, na maioria das amostras, oscila entre 1 e 15 %, a que corresponde cerca de 2 a 41 % do total, mas encontrando-se em geral abaixo dos 20 % (Quadro III).

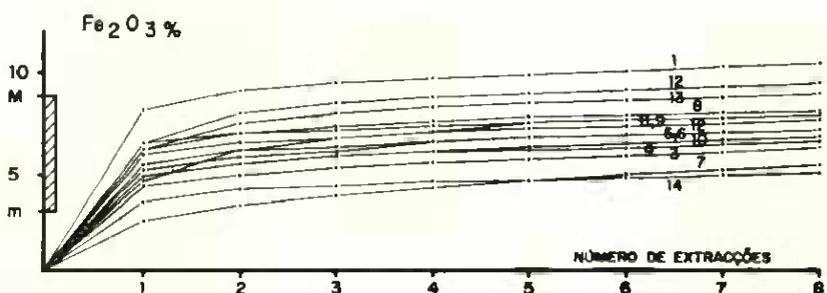
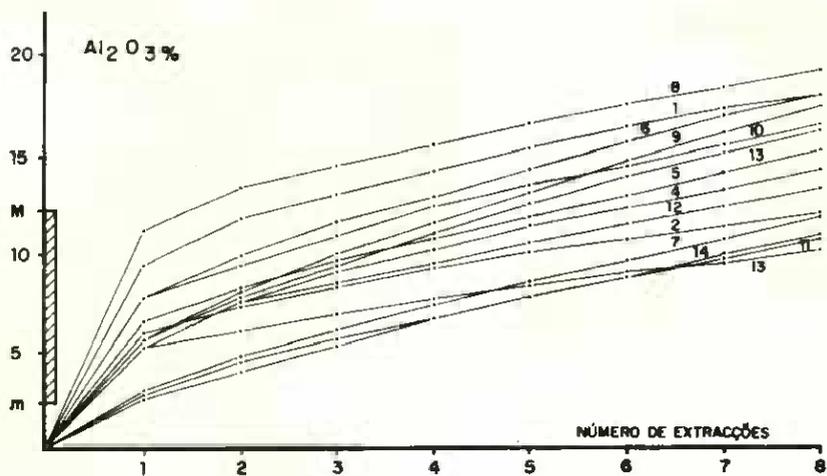
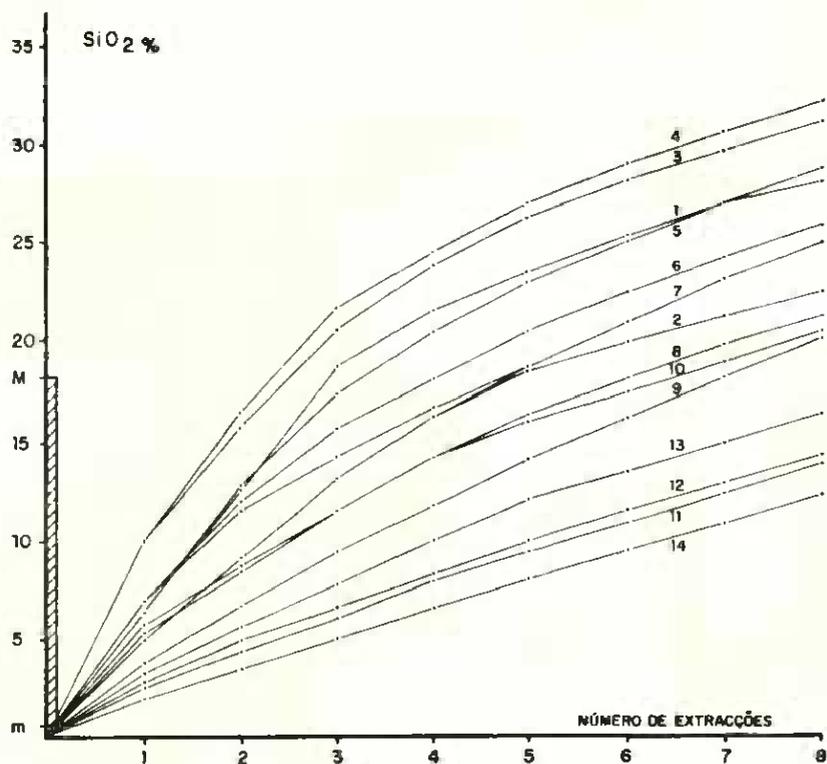


Fig. 2 — Curvas de extracção dos produtos amorfos das amostras 411M (1), 438M (2), 440M (3), 677M (4), 679M (5), 861M (6), 864M (7), 966M (8), 969M (9), 1069M (10), 1074M (11), 1137M (12) e 1144M (13). Em abcissas marcam-se as quantidades máxima (M) e mínima (m), extraídas nas diferentes amostras

QUADRO III — *Relações entre os elementos facilmente extraíveis (fe) e os elementos totais (t)*

Amostra	Elementos totais			Elementos facilmente extraíveis			Si (fe)	Al (fe)	Fe (fe)
	Si %	Al %	Fe %	Si %	Al %	Fe %	Si (t) %	Al (t) %	Fe (t) %
411 M	35,54	24,06	11,93	14,8	7,6	8,8	41,6	31,6	73,8
679 M	40,29	26,87	8,94	14,4	7,2	5,9	35,7	26,8	66,0
864 M	40,69	26,44	9,21	6,9	2,8	3,3	17,0	10,6	35,8
966 M	34,96	29,76	9,32	7,9	12,2	7,0	22,6	41,0	75,1
969 M	38,18	32,40	9,05	4,3	6,0	6,9	11,3	18,5	76,2
1137 M	28,80	30,70	10,54	3,5	6,1	8,1	12,2	19,9	76,9
1144 M	32,36	32,65	10,17	5,2	6,3	7,7	16,1	19,3	75,7
1147 M	35,58	33,59	7,99	0,9	2,2	4,1	2,5	6,5	51,3

### *Dissolução do ferro*

As curvas de solubilização do ferro, como se observa na Fig. 2, são semelhantes às deste mesmo elemento e referentes ao caso dos solos alofânicos. Efectivamente verifica-se que nas duas primeiras extracções as quantidades extraídas são muito importantes, representando em geral mais de 80 % do total.

A relação *ferro facilmente extraível/ferro total* situa-se normalmente acima dos 65 % (exceptuam-se as amostras 864 M e 1147 M, em que é inferior) (Quadro III).

### *Relação SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*

A relação sílica/alumina dos produtos dissolvidos é relativamente mais baixa na primeira extracção, aumentando significativamente nas seguintes (sem que no entanto atinja os valores encontrados nos solos alofânicos) e tornando a baixar depois da quarta extracção. A partir desta extracção os valores mantêm-se, em geral, dentro de limites relativamente próximos (Quadro IV).

QUADRO IV — *Relações moleculares SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dos diferentes extractos, do material amorfo e da amostra total*

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	Amorfo	Total
411 M	1,33	5,33	5,56	3,21	2,54	2,31	2,08	1,90	3,30	2,51
679 M	2,00	4,46	4,88	2,94	2,80	2,50	2,50	2,64	3,40	2,54
864 M	2,89	4,00	4,86	3,85	3,64	3,36	3,35	2,91	4,18	2,61
966 M	0,79	2,22	5,60	4,30	3,80	3,11	3,11	3,00	1,10	1,99
969 M	1,15	1,96	2,42	2,44	2,41	2,43	2,33	2,38	1,22	2,00
1137 M	0,85	1,31	2,46	2,43	2,45	2,44	2,36	2,45	1,82	2,90
1144 M	0,81	2,28	2,93	2,92	3,60	2,00	1,92	2,25	1,40	1,68
1147 M	1,19	1,44	2,45	2,30	2,73	2,30	2,40	2,45	0,69	1,80

Uma característica que parece sobressair nestas amostras, é a de que os valores da relação SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> do material amorfo total se podem distribuir por duas classes: uma em que tais valores são relativamente baixos, da ordem de 0,69 a 1,82 e outra em que os valores se situam entre 3,30 e 4,18.

### *Conclusões*

O ataque do material argiloso dos solos haloisíticos mostra que a quantidade de material considerado como amorfo é bastante variável, pois pode ultrapassar nuns casos os 30 % e noutras ser inferior a 10 %.

A natureza do material amorfo também parece ser diferente, pois nalgumas amostras apresenta-se bastante silicioso (com relações sílica/alumina superiores a 3) e noutras predominantemente aluminoso (a relação não ultrapassa 1,82 podendo mesmo ser inferior a 1, numa das amostras).

Quanto ao ferro, se bem que ele se apresente em grande parte no estado amorfo, podem encontrar-se quantidades significativas de material cristalino.

## 3. SOLOS PREDOMINANTEMENTE CAULINITICOS (S. MARIA)

*Dissolução da alumina*

As curvas de dissolução mostram em todos os casos considerados uma subida contínua não se definindo qualquer plataforma (Fig. 3). As quantidades de alumina amorfa (?) situam-se entre 2,6 % e 6,4 %, a que corresponde em relação à alumina total valores entre 9,2 % e 15,2 %, podendo no entanto, nas amostras 1900 M e 1912 M, atingir valores mais elevados (Quadro V).

QUADRO V — *Relações entre os elementos facilmente extraíveis (fe) e os elementos totais (t)*

Amostra	Elementos totais			Elementos facilmente extraíveis			Si (fe)	Al (fe)	Fe (fe)
	Si %	Al %	Fe %	Si %	Al %	Fe %	Si (t) %	Al (t) %	Fe (t) %
1859 M	36,57	28,40	14,59	1,7	2,6	7,6	4,6	9,2	52,1
1861 M	36,87	28,83	15,55	4,0	2,9	6,4	10,3	10,1	41,2
1884 M	34,31	30,70	9,96	1,8	3,3	6,0	5,2	10,7	60,2
1887 M	37,97	37,75	6,79	1,8	3,7	5,0	4,7	9,8	71,7
1899 M	32,95	23,81	15,71	7,6	3,7	11,5	23,1	15,5	73,2
1900 M	32,15	22,95	16,83	4,0	7,3	15,3	12,4	31,8	90,9
1912 M	31,71	30,95	19,81	2,6	6,4	16,0	8,2	20,7	80,8
1917 M	36,03	31,51	12,53	0,8	4,8	7,3	2,2	15,2	58,3

*Dissolução da sílica*

A solubilização da sílica é ainda mais gradual e contínua do que a da alumina, como se observa na Fig. 3. As percentagens de sílica mais facilmente solubilizada são próximas das da alumina (entre 0,8 e 7,6), mas em geral inferiores, embora ligeiramente. Em relação ao total, a sílica solubilizada é inferior a 12,4 % embora na amostra 1899 M possa atingir 23,1 % (Quadro V).

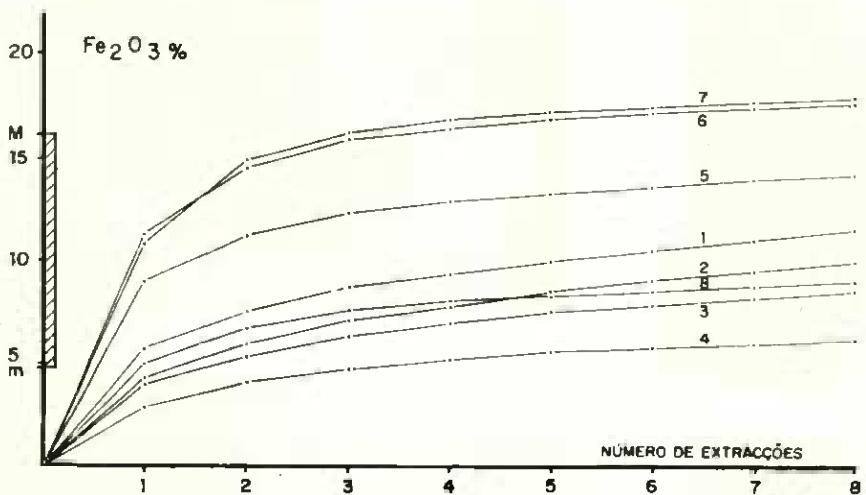
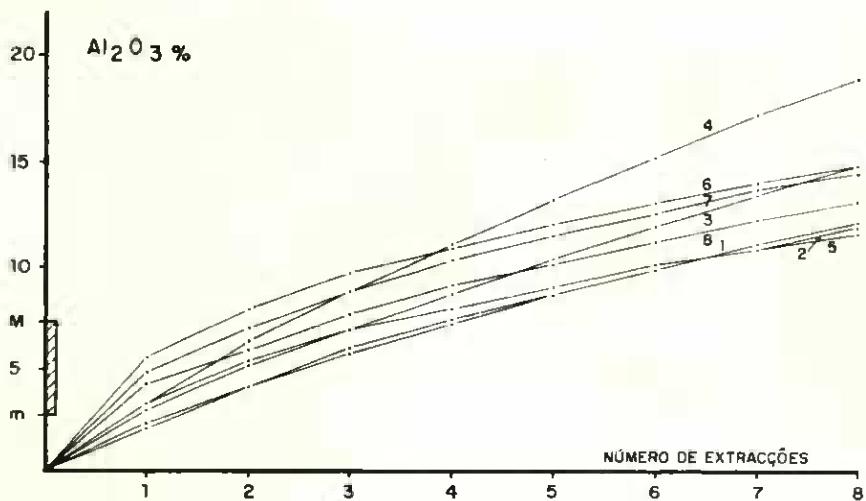
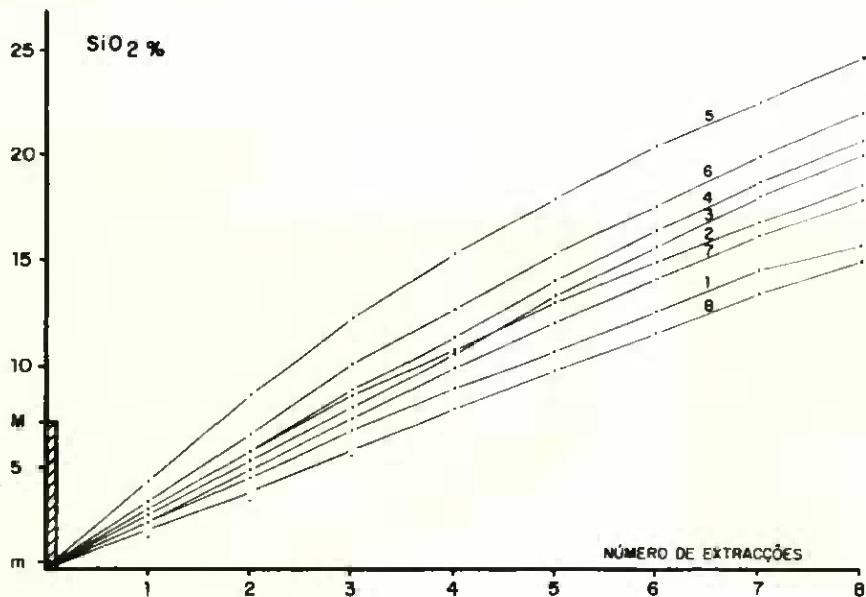


Fig. 3 — Curvas de extração dos produtos amorfos das amostras 1859M (1), 1861M (2), 1884M (3), 1887M (4), 1899M (5), 1900M (6), 1912M (7) e 1917M (8). Em abscissas marcam-se as quantidades máxima (M) e mínima (m), extraídas nas diferentes amostras

### *Dissolução do ferro*

Ao contrário da alumina e da sílica o ferro apresenta uma solubilização elevada nas duas primeiras extracções, diminuindo brusca-mente a partir da terceira, como se observa na Fig. 3.

Parece portanto que, ao contrário do material sílico-aluminoso, o ferro se encontra em proporção importante no estado amorfo, pois como se vê no Quadro V ele situa-se entre 41,2 % e 90,9 %.

### *Relação $SiO_2/Al_2O_3$*

A relação sílica/alumina nas diferentes extracções tem normal-mente valores da ordem de 2 a 4, embora na primeira ela seja um pouco inferior e podendo mesmo nas amostras 1900 M, 1912 M e 1917 M ser bastante mais baixa (Quadro VI).

O aspecto das curvas de dissolução da sílica e da alumina, assim como a pouca variação da relação sílica/alumina, parece indicar que as amostras são constituídas fundamentalmente por material cris-talino.

QUADRO VI — *Relações moleculares  $SiO_2/Al_2O_3$ , dos diferentes extractos, do material amorfo e da amostra total*

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	Amorfo	Total
1859 M	1,59	2,06	2,44	2,13	2,46	2,50	2,50	2,36	1,08	2,24
1861 M	2,00	2,55	2,94	2,69	2,92	2,73	2,82	2,90	2,39	2,31
1884 M	1,52	2,00	2,59	2,59	2,39	2,53	2,64	2,62	1,03	2,13
1887 M	1,60	2,09	1,91	1,95	1,95	1,95	1,95	2,00	0,94	1,78
1899 M	2,17	3,58	4,19	5,07	3,75	4,05	4,68	4,29	2,18	2,43
1900 M	0,94	2,44	2,88	3,59	3,82	3,88	3,96	4,31	0,96	1,99
1912 M	0,83	1,86	2,39	2,93	2,92	2,91	3,30	3,22	0,68	1,83
1917 M	0,80	1,93	2,24	2,64	2,82	3,00	3,00	2,88	0,23	1,98

### *Conclusões*

Os resultados do estudo do material argiloso dos solos da ilha de S. Maria mostra que o material sílico-aluminoso considerado como amorfo é bastante reduzido, pois não ultrapassa os 10 %. A natureza

desse material parece ser essencialmente aluminosa, embora na amostra 1861 M ele se apresente com características diferentes (pois a relação  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  é nitidamente superior).

Ao contrário do material referido, o ferro parece encontrar-se em grande parte no estado amorfo.

#### 4. SOLOS FERRALITICOS (ANGOLA)

##### *Dissolução da alumina*

Nas amostras cauliniticas a dissolução da alumina é contínua, praticamente não se podendo considerar a existência de alumina amorfa (Fig. 4).

Nas amostras caulinitico-gibíticas observa-se uma dissolução importante de alumínio, bem nítida até à quarta extracção. A partir daí a subida é gradual e contínua, como se observa no caso das argilas cauliniticas.

Pode-se portanto afirmar que a alumina solubilizada nas quatro primeiras extracções provém sobretudo da gibsite, pois este mineral desaparece quase totalmente depois da quarta extracção, como se pode observar comparando os diagramas das amostras 3637, 3638, 608 e 3015 antes e depois das extracções.

Não considerando as amostras com gibsite, a percentagem de alumínio facilmente solubilizado é inferior a 1,7 %, o que tendo em conta que há sempre um ataque de material cristalino nos leva a admitir a não existência de alumínio amorfo. No Quadro VII representam-se os valores correspondentes à relação *Al facilmente extraível/Al total*, que estão de acordo com o referido anteriormente.

QUADRO VII — *Relação entre os elementos facilmente extraíveis (fe) e os elementos totais (t)*

Amostra	Elementos totais			Elementos facilmente extraíveis			Si (fe)	Al (fe)	Fe (fe)
	Si %	Al %	Fe %	Si %	Al %	Fe %	Si (t) %	Al (t) %	Fe (t) %
608	25,08	32,21	13,89	0,0	11,1	2,1	0,0	34,4	15,1
3015	21,81	29,23	22,72	0,0	8,1	8,4	0,0	27,7	37,0
3637	12,38	35,00	21,50	0,0	20,5	13,0	0,0	58,6	60,5
8208	36,54	33,09	7,54	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	20,6
10989	42,37	36,44	1,53	0,0	1,7	0,0	0,0	4,7	0,0

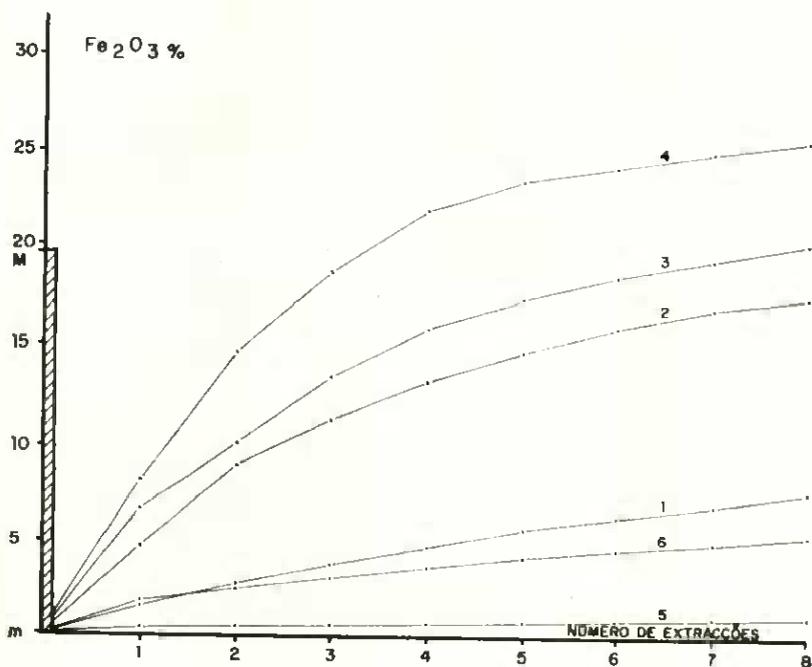
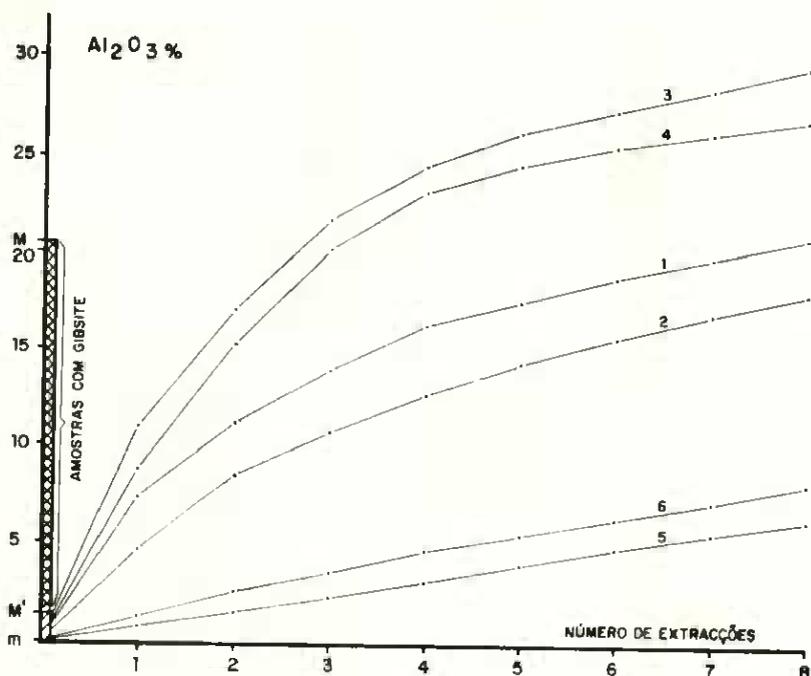
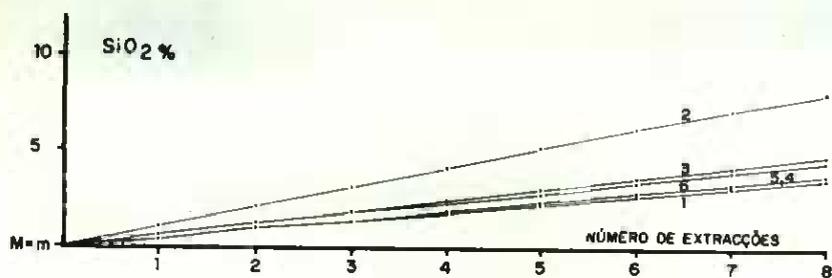


Fig. 4 — Curvas de extracção dos produtos amorfos das amostras 608 (1), 3015 (2), 3637 (3), 3638 (4), 8208 (5) e 10989 (6). Em abscissas marcam-se as quantidades máximas para as amostras com gibsíte (M) ou apenas cauliniticas (M') e mínima (m), extraídas nas diferentes amostras

*Dissolução da sílica*

Em todas as amostras estudadas as curvas de dissolução aproximam-se praticamente de rectas, o que indica a não existência de sílica amorfa (Fig. 4).

Conjugando os resultados obtidos para a sílica com os da alumina, pode afirmar-se que nas argilas destes solos não se encontra material amorfo de natureza sílico-aluminosa.

*Dissolução do ferro*

As curvas de dissolução do ferro (Fig. 4) agrupam-se em dois conjuntos bem distintos: um em que as curvas mostram uma subida quase constante; outro em que se observa uma subida relativamente rápida até à quarta extracção, tornando-se depois muito mais suave mas sem que no entanto se defina uma verdadeira plataforma.

Nas primeiras curvas a quantidade de ferro facilmente solúvel é inferior a 2,1 %, podendo no entanto representar em relação ao ferro total valores que atingem os 20 %; nas segundas o ferro amorfo varia entre 8,4 e 13,0 %, a que correspondem valores de 37,0 a 60,5 % do ferro total (Quadro VII).

*Relação  $SiO_2/Al_2O_3$* 

A relação sílica/alumina nas quatro primeiras extracções é em geral muito baixa, subindo nas restantes onde chega a atingir valores 10 a 30 vezes superiores (Quadro VIII). As relações mais elevadas são no entanto inferiores a 2,2 aproximando-se das obtidas para a amostra total.

QUADRO VIII — *Relações moleculares  $SiO_2/Al_2O_3$  dos diferentes extractos, do material amorfo e da amostra total*

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	Amorfo	Total
608	0,17	0,34	0,62	0,49	1,77	1,92	2,10	2,10	0,0	1,32
3015	0,30	0,38	0,81	1,16	1,31	1,23	1,23	1,50	0,0	1,27
3637	0,07	0,17	0,15	0,48	0,65	0,83	1,00	1,00	0,0	0,63
3638	0,05	0,08	0,13	0,35	0,69	1,10	1,50	1,50	0,0	0,72
8208	0,16	0,33	0,25	0,46	0,33	0,51	0,50	0,48	0,0	1,87
10989	0,17	0,29	0,46	0,63	0,96	0,05	0,74	0,75	0,0	1,87

### *Conclusões*

Em todas as amostras verifica-se que a sílica facilmente solúvel é nula. Tendo em conta que nas amostras fundamentalmente constituídas por caulinite a alumina solúvel é quase inexistente, isso leva-nos a admitir que não se encontrará nestes solos material sílico-aluminoso amorfo.

A alumina solúvel que se obteve em quatro das amostras corresponde à destruição da gibsite.

Finalmente, o ferro parece encontrar-se nalgumas amostras em grande parte bem cristalizado enquanto que noutras se apresenta com grau de cristalinidade bastante menor, pois uma grande parte é facilmente solubilizado.

## 5. SOLOS PARAFERRALITICOS (S. TOME)

### *Dissolução da alumina*

Nas quatro amostras estudadas observa-se que a dissolução da alumina é gradual e contínua, apresentando as curvas de solubilização uma subida constante. As percentagens de alumínio mais facilmente extraível são sempre muito baixas, pois nunca ultrapassam os 4,1 % (Fig. 5), representando no entanto, em relação ao alumínio total, percentagens entre 10,4 e 13,3 % (Quadro IX).

### *Dissolução da sílica*

A configuração das curvas (Fig. 5) é semelhante às da alumina (quase se podendo sobrepor), o que revela portanto que a sílica extraída parece encontrar-se intimamente ligada à alumina. Isto leva-nos a admitir que o ataque se efectuou praticamente sobre o material cristalino de natureza sílico-aluminosa. As percentagens de sílica extraída são inferiores a 3 %, o que corresponde em relação à sílica total a valores compreendidos entre 3,9 e 8,7 % (Quadro IX).

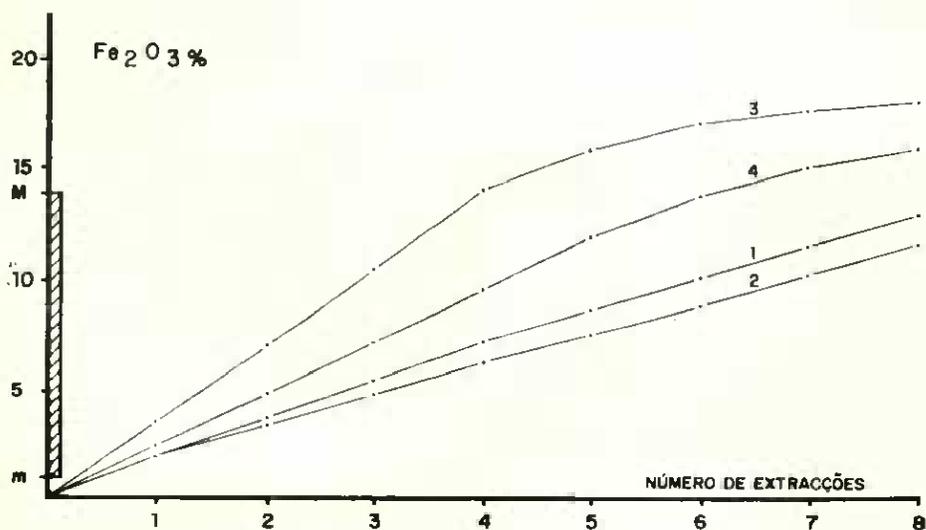
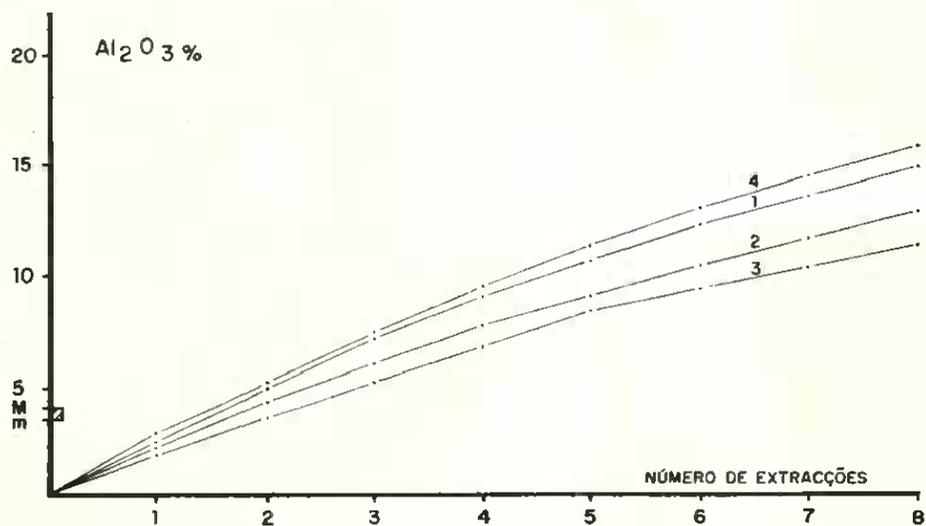
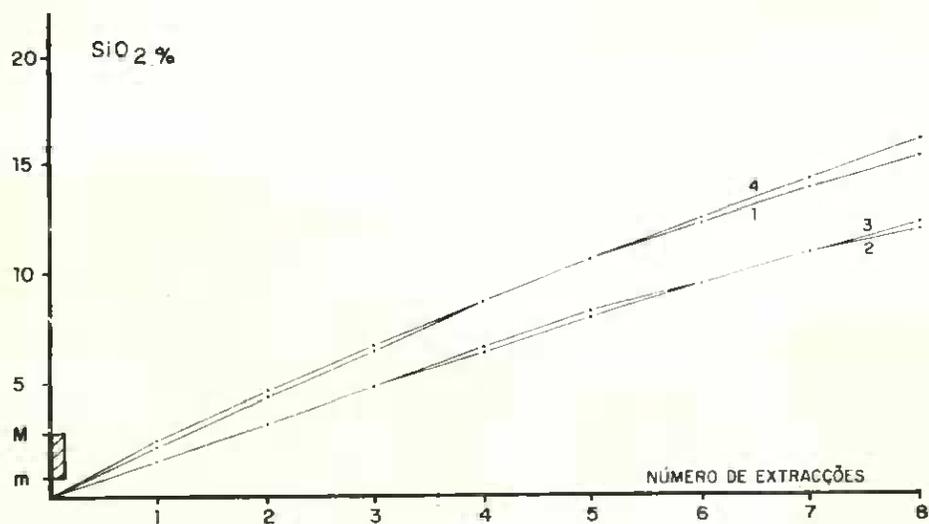


Fig. 5 — Curvas de extração dos produtos amorfos das amostras 23960 (1), 23961 (2), 23963 (3) e 23965 (4). Em abcissas marcam-se as quantidades máxima (M) e mínima (m), extraídas nas diferentes amostras

QUADRO IX — *Relações entre os elementos facilmente extraíveis (fe) e os elementos totais (t)*

Amostra	Elementos totais			Elementos facilmente extraíveis			Si (fe)	Al (fe)	Fe (fe)
	Si %	Al %	Fe %	Si %	Al %	Fe %	Si (t) %	Al (t) %	Fe (t) %
23960	31,19	30,67	18,22	2,7	4,1	1,7	8,7	13,4	9,3
23961	31,15	30,88	19,47	1,2	3,2	0,9	3,9	10,4	4,6
23963	26,49	27,21	24,23	2,1	3,4	13,5	7,9	12,5	55,7
23965	30,81	32,99	18,57	1,2	4,0	5,5	3,9	12,1	29,6

### *Dissolução do ferro*

As curvas de solubilização do ferro (Fig. 5) mostram dois aspectos diferentes, correspondendo às amostras dos dois perfis estudados. Assim as amostras de P14ST/72 (23 960 e 23 961) apresentam curvas com subida constante, o que parece corresponder à existência de ferro bem cristalizado; as amostras de P15ST/72 (23 963 e 23 965) mostram curvas que denunciam a existência de ferro amorfo em quantidades significativas (entre 5,5 a 13,5 %). Como se observa no quadro IX, a relação *ferro facilmente extraível/ferro total* atinge naquelas duas amostras 29,6 e 55,7 % respectivamente.

### *Relação SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*

A relação sílica/alumina nas diferentes extracções (Quadro X) sofre pequenas variações denunciando portanto que o material solubilizado é fundamentalmente derivado de material cristalino.

QUADRO X — *Relações moleculares SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dos diferentes extractos e da amostra total*

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	Amorfo	Total
23960	1,46	1,77	1,68	1,77	2,13	1,87	1,92	2,00	1,35	1,73
23961	1,17	1,36	1,56	1,60	2,15	1,77	1,83	1,73	1,28	1,73
23963	1,37	1,52	1,63	1,98	2,15	2,26	2,26	2,27	1,05	1,65
23965	1,54	1,52	1,62	1,61	1,79	1,99	2,07	2,08	0,60	1,58

### Conclusões

O estudo das argilas dos solos paraferalíticos de S. Tomé mostra que o material amorfo de natureza sílico-aluminosa é praticamente inexistente. Efectivamente, se se pode admitir a presença de alumina amorfa (em percentagem muito reduzida) já o mesmo não se verifica para a sílica visto que esta não é detectável.

No que respeita ao ferro a situação é diferente em relação a um dos perfis, pois observa-se material ferruginoso amorfo em quantidades que chegam a atingir os 14 %.

### IV. CONCLUSÕES FINAIS

O estudo das argilas dos diferentes solos mostra existirem grandes diferenças nos resultados obtidos. Assim o material amorfo de natureza sílico-aluminosa (alofanas) só é observável em quantidades significativas nos *Andossolos* e *Solos pardos ândicos* da ilha de S. Miguel. Efectivamente, como se referiu, as quantidades excedem na maioria dos *Andossolos* os 50 %, enquanto que nos *Pardos ândicos* se encontram na maior parte dos casos entre 10 e 30 %.

Nos restantes solos estudados, as percentagens são reduzidas ou mesmo nulas nos *Solos paraferalíticos* e *Solos ferralíticos*, enquanto que nos solos da ilha de S. Maria as quantidades observadas não excedem os 10 %.

Dos resultados obtidos conclui-se, portanto, que os minerais amorfos de natureza sílico-aluminosa predominam nos solos jovens derivados de materiais vulcânicos recentes, diminuindo substancialmente ou mesmo desaparecendo à medida que os solos vão evoluindo.

Para o ferro não se observa esta mesma correlação, pois encontram-se quantidades apreciáveis de material amorfo ferruginoso nos diferentes solos estudados, muito embora nos menos evoluídos semelhante material esteja mais bem representado. Pode mesmo observar-se grande diferença de cristalinidade do ferro em solos do mesmo tipo, como no caso dos solos ferralíticos e paraferalíticos, nos quais se observam perfis em que o material ferruginoso se encontra quase totalmente no estado cristalino, enquanto que noutros se encontram percentagens de ferro amorfo que podem atingir quantidades relativamente elevadas.

## RESUMO

O método cinético de dissolução de Segalen é aplicado a argilas de solos derivados de formações vulcânicas (de idade variável), ocorrendo sob climas temperados e tropicais.

Os resultados obtidos mostram que os materiais amorfos determinados a partir das curvas de dissolução encontram-se irregularmente distribuídos nas amostras estudadas.

Assim os materiais silico-aluminosos amorfos só aparecem bem representados nos *Andossolos* e *Solos pardos ândicos* da ilha de S. Miguel (sobretudo nos primeiros), enquanto que nos outros solos estudados aqueles materiais encontram-se em fracas quantidades ou estão mesmo ausentes (como nos *Solos ferralíticos* e *Solos para-ferralíticos*). Estes resultados mostram que existe uma relação entre a quantidade de material amorfo e o grau de juventude do solo, como aliás tem sido afirmado por muitos autores.

No que diz respeito ao ferro amorfo não parece observar-se aquela mesma correlação, pelo menos duma maneira tão evidente. Com efeito, embora seja nos solos jovens onde o ferro amorfo se encontra em quantidades mais elevadas (atingindo mais de 90 % do ferro total), ele pode aparecer nos *Solos ferralíticos* e *Solos para-ferralíticos* bem representado nuns casos (entre 20 e 60 %) e noutros encontrar-se em quantidades muito baixas ou estar mesmo ausente.

## RESUME

**L'utilisation de la méthode de Segalen pour la caractérisation des matériaux amorphes des sols développés en régions sous des climats tempérés et tropicaux**

La méthode cinétique de dissolution de Segalen est appliquée à des argiles de sols issus de roches volcaniques (d'âge variable) situés en régions soumis à des climats tempérés et tropicaux.

Les résultats obtenus montrent que les matériaux amorphes déterminés à partir des courbes de dissolution se trouvent distribués irrégulièrement dans les échantillons étudiés.

C'est ainsi que les matériaux amorphes silico-alumineux sont bien présentés seulement dans les *Andosols* et *Sols bruns entrophes* de

l'île de S. Miguel (en particulier dans les *Andosols*) tandis que dans les autres sols étudiés les mêmes matériaux se trouvent en quantités très faibles ou sont même absents (comme dans les *Sols ferrallitiques* et *Sols paraferrallitiques*). Ces résultats montrent qu'existe une relation entre la quantité des minéraux amorphes et la jeunesse du sol, comme d'ailleurs il a été affirmé par plusieurs auteurs.

Dans ce que concerne le fer amorphe il ne paraît pas s'observer la même corrélation, au moins d'une façon aussi nette. En effet, bien qu'il soit dans les sols jeunes où le fer amorphe se trouve en quantités très élevées (plus de 90 % du total), il apparaît aussi dans les *Sols ferrallitiques* et *Sols paraferrallitiques* bien représenté dans certains cas (entre 20 et 60 %) et dans d'autres il est presque absent.

#### SYNOPSIS

#### The utilization of the Segalen method for characterization of amorphous materials of soils under temperate and tropical climates

The Segalen kinetic method of dissolution is applied to clays of soils formed from volcanic rocks (of different age) developed under temperate and tropical climates.

The results obtained prove that the amorphous materials determined from the curves of dissolution are irregularly distributed in the samples studied.

Therefore, the amorphous alumino-silicate materials can only be found in significant amounts in the *Andosols* and *Brown andic soils* of S. Miguel Island (mainly in the first ones) while in the other soils studied those materials appear in very low quantities and sometimes they do not even appear (as in *Ferrallitic* and *Paraferrallitic* soils). These results indicate that there is a connection between the quantity of amorphous material and degree of youth of soil, as it has already been observed by several authors.

As for the amorphous iron these does not seem to exist the same connection, at least in not so clear a way. For although the young soils are the ones where amorphous iron appears in great quantities (reaching more than 90 % of the total iron) it can also appear in the *Ferra-*

*ilitic* and *Paraferrallitic* soils in significant amounts in some cases (between 20 and 60 %) and be almost completely absent in other cases.

### BIBLIOGRAFIA

- CARDOSO, J. Carvalho & GARCIA, J. Sacadura — Carta dos Solos de São Tomé e Príncipe. Memórias da Junta de Investigações do Ultramar, 2.<sup>a</sup> Série, 39, 1962, 306 p.
- FURTADO, A. F. A. Sanches — Os minerais argilosos de solos da ilha de S. Miguel. *Anais Inst. Sup. Agron.*, XXXV, 1974-75, 41-76.
- HERBILLON, A. & TRAN VINH AN, J. — Étude de la fraction amorphe colloïdale de quelques sols tropicaux. *8th Int. Cong. Soil Sc.*, Bucarest, III, 1964, 1191-1201.
- MISSÃO DE PEDOLOGIA DE ANGOLA — Carta Geral dos Solos de Angola-2. Distrito de Huambo. Memórias da Junta de Investigações do Ultramar, 2.<sup>a</sup> Série, 21, 1961, 275 p.
- QUANTIN, P. & LAMOUROUX, M. — Adaptation de la méthode cinétique de Segalen à la détermination des constituants minéraux des sols variés. *Cah. ORSTOM, Sér. Pedol.*, XII, 1, 1974, 3-12.
- RICARDO, R. Pinto *et alt.* — Nota preliminar acerca dos solos da ilha de S. Miguel (Açores). Em publicação.
- SEGALEN, P. — Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxides tropicaux. *Cah. ORSTOM, Sér. Pedol.*, VI, 7, 1968, 105-126.