

CARACTERÍSTICAS ANALÍTICAS DOS AGREGADOS DOS SOLOS TERRA-ROXA (LATOSSOLO ROXO) E MASSAPÉ (PODZÓLICO VERMELHO AMARELO-ORTO) (1)

JOSÉ PEREIRA DE QUEIROZ NETO, FRANCISCO GROHMANN e JOÃO BERTOLDO DE OLIVEIRA, *engenheiros-agrônomo, Seção de Agrogeologia, Instituto Agrônômico*

SINOPSE

Os resultados de laboratório mostram que o solo massapé contém maior quantidade de agregados grosseiros, de maior estabilidade nágua, do que a terra-roxa, confirmando as descrições de campo desses dois solos.

As características físicas e químicas (textura, umidade, pH, matéria orgânica, N, bases trocáveis, capacidade de troca e óxidos livres de ferro), determinadas em todos os tamanhos de agregados desses solos, mostraram que: *a*) na terra roxa os valores dessas características, exceção feita dos óxidos livres de ferro, são mais elevados nos agregados maiores, e menores e mais baixos nos intermediários; os teores de óxidos livres de ferro parecem variar em função inversa dos teores de argila e matéria orgânica; *b*) no massapé observou-se que os valores das características analisadas eram praticamente os mesmos em todas as classes de tamanho de agregados; *c*) há uma relação nítida entre os valores de argila, matéria orgânica, soma de bases e capacidade de troca em todas as classes de tamanho de agregados.

Os autores discutem a influência que os diversos elementos analisados podem ter sobre as características estruturais desses solos.

1 — INTRODUÇÃO

As características da estrutura dos solos tropicais e as influências que sofre dos diversos tipos de cultura, do preparo do solo ou das adubações têm sido pouco estudadas.

Há alguns anos foram iniciadas pesquisas entre nós, visando definir a importância desses fatores sobre a estabilidade nágua dos agregados e sobre o estado de agregação de dois tipos de solo do Estado de São Paulo, de grande importância econômica: a terra-roxa (latossolo roxo) e o massapé (podzólico vermelho amarelo-orto) (5, 6, 7, 14, 15).

(1) Recebido para publicação em 16 de setembro de 1966.

As características da estrutura, em condições de campo, mostram diferenças bastante grandes entre a forma, o arranjo, o tamanho, o grau e a durabilidade dos agregados visíveis desses dois solos (11). O massapé apresenta, preponderantemente, uma estrutura angular ou subangular, média a grosseira, de agregados estáveis, com cerosidade marcada no horizonte B. Devido, provavelmente, aos teores mais elevados de matéria orgânica, a estrutura do horizonte A passa a subangular e mesmo granular, como nas amostras estudadas neste trabalho. A terra-roxa apresenta, por seu turno, uma estrutura granular pequena a média, de agregados estáveis na superfície, que se torna maciça e porosa em profundidade, desfazendo-se em granular ou mesmo subangular pequena.

Além das pesquisas sobre o estado de agregação e estabilidade náua, não se encontra nenhuma referência sobre as características dos agregados desses solos.

Assim, este trabalho foi realizado visando definir as características físicas e químicas das diversas classes de tamanho dos agregados desses solos, a fim de encontrar elementos que pudessem auxiliar o estudo da formação e estabilidade da estrutura desses solos.

2 — MATERIAL E MÉTODOS

As amostras utilizadas neste trabalho foram coletadas na profundidade aproximada de 0 a 25 cm, correspondente ao horizonte A desses solos e ao máximo alcançado pelos trabalhos de preparo para o cultivo.

A terra-roxa da série Chapadão procedeu de uma área onde se instalara um ensaio de adubação de milho, na Estação Experimental "Theodoreto de Camargo", ao passo que o massapé foi coletado num pomar de árvores frutíferas da Estação Experimental de Monte Alegre do Sul.

As características analíticas desses solos foram definidas em trabalhos anteriores (14, 15).

O estado de agregação das amostras foi definido pela separação, por peneiragem a seco, das seguintes classes de tamanho de agregados: 7-4, 4-2, 2-1, 1-0,5, 0,5-25, 0,25-0,105 e < 0,105 mm.

A estabilidade náua dos agregados foi determinada por peneiragem náua nas classes de tamanho 7-4, 4,2 e 2-1 mm; as amostras eram previamente umedecidas por capilaridade, deixadas 12 horas em repouso e peneiradas a úmido nas mesmas peneiras empregadas para definição do estado de agregação. Para a terra-roxa, o teste de estabilidade náua também foi feito na classe de tamanho 1-0,5 mm.

Nas diversas classes de tamanho de agregados, separadas por peneiragem a seco, foram efetuadas as seguintes determina-

ções: granulometria, umidade equivalente (1 atmosfera) e capacidade de campo (1/3 de atmosfera), bases trocáveis (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+) e pH, segundo métodos propostos por Paiva Neto e outros (13), capacidade de troca de cátions pelo acetato de amônio (18) e óxidos de ferro livres (16). A fração argila das classes de tamanho 4-2, 1-0,5 e $< 0,105$ mm foi examinada por difração dos raios X, num aparelho Philips Norelco. (1)

3 — RESULTADOS

Os resultados obtidos permitiram a construção de um certo número de gráficos que mostram as variações das porcentagens de argila e matéria orgânica dos agregados, a distribuição da argila do solo nas diferentes classes de tamanho dos agregados, as relações entre as porcentagens de argila ou matéria orgânica e os valores da capacidade de troca de cátions e da soma de bases trocáveis e a variação dos valores de umidade em função do tamanho dos agregados.

O exame do quadro 1 mostra que o massapé apresenta maior quantidade de agregados grosseiros do que a terra roxa, como, aliás, Queiroz e Grohmann (14) e Queiroz, Oliveira e Grohmann (15) já haviam observado em trabalhos anteriores. Segundo êsses autores, enquanto o diâmetro médio dos agregados da terra-roxa oscila entre 0,5 e 1,0 mm, o diâmetro médio do massapé é pouco superior a 2,0 mm; além disso, a variação do diâmetro médio dos agregados, nos dois tipos de solo, acha-se estreitamente relacionada ao tipo de trabalho do solo, aos níveis das bases trocáveis, carbono total etc.

QUADRO 1. — Estado de agregação, por peneiragem a seco, das amostras dos solos terra-roxa (Latossolo Roxo — série Chapadão) e Massapé (Podzólico Vermelho Amarelo-orto)

Solo	Abertura das malhas das peneiras, em milímetros						
	4	2	1	0,5	0,25	0,105	$< 0,105$
	%	%	%	%	%	%	%
Terra-roxa	6,7	20,9	20,9	19,1	15,9	7,5	9,0
Massapé	24,0	34,3	16,6	7,9	5,4	4,2	7,6

(1) A análise da fração argila por difração dos raios X foi efetuada pelo Dr. Antonio Carlos Moniz.

O solo massapé apresenta uma notável estabilidade nágua dos agregados, conforme pode-se constatar pelo quadro 2. As três classes de tamanho de agregados analisadas apresentam, praticamente, o mesmo comportamento nágua, deixando um resíduo, nas respectivas peneiras, de pouco mais de 80% dos agregados. Comparando êsses resultados com os obtidos por Grohmann (5) e por Queiroz, Oliveira e Grohmann (15), verifica-se que a utilização pouco intensa dêste solo, representada pela amostra ora estudada, afeta pouco a estabilidade dos agregados, mantendo-a próxima daquela encontrada sob pastagem ou sob mata.

QUADRO 2. — Estabilidade nágua de várias classes de tamanho de agregados dos solos terra-roxa (Latossolo Roxo — série Chapadão) e Massapé (Podzólico Vermelho amarelo-orto)

Solo	Classes de tamanho dos agregados	Abertura das malhas das peneiras, em milímetros						
		4	2	1	0,5	0,25	0,105	< 0,105
		%	%	%	%	%	%	%
Terra-roxa .	7 — 4	54,4	17,0	8,0	6,8	5,4	2,2	6,2
	4 — 2	—	62,0	12,0	9,2	7,2	3,4	6,2
	2 — 1	—	—	56,4	19,8	11,0	4,8	8,0
	1 — 0,5 ...	—	—	—	75,0	12,4	3,4	9,2
Massapé ...	7 — 4	83,2	8,8	1,2	0,8	8,0	0,8	4,4
	4 — 2	—	82,0	7,6	2,4	1,4	0,8	5,8
	2 — 1	—	—	81,6	6,8	2,8	1,6	7,2

A estabilidade nágua dos agregados da terra-roxa, conforme se observa no quadro 2, é menor do que a dos agregados do massapé, confirmando o resultado obtido anteriormente por Grohmann (5). Aqui, também, observa-se um comportamento idêntico das diferentes classes de agregados quanto ao teste de estabilidade, pois deixam um resíduo quase igual nas respectivas peneiras, de cerca de 55%; somente a classe de tamanho 1-0,5 mm deixa um resíduo maior. Neste caso, deve-se salientar a maior porcentagem de areia grossa contida nos agregados, que poderia, até certo ponto, ser a responsável pelo aumento da quantidade de material retido na peneira.

Esses resultados mostram que a análise do estado de agregação desses solos, pelo método da peneiragem a seco, oferece uma boa representabilidade da distribuição dos agregados, já que o teste de estabilidade nágua afeta as várias classes de tamanho, de maneira idêntica. Por outro lado, a estabilidade nágua dos agregados pode ser definida em qualquer classe de tamanho acima de 1 mm, tomando-se como índice desse comportamento somente a quantidade de agregados retidos na peneira que define a classe.

QUADRO 3. — Características físicas das diversas classes de tamanho dos agregados dos solos terra-roxa (Latossolo Roxo) e Massapé (Podzólico Vermelho Amarelo-orto)

Solos	Classes de tamanho dos agregados	Análise granulométrica				Constantes de umidade	
		Argila	Limo	Areia fina	Areia grossa	1/3 atm.	1 atm.
	<i>mm</i>	%	%	%	%	%	%
Terra-roxa	7 — 4	40,5	23,0	23,2	13,3	—	—
	4 — 2	38,7	25,8	22,0	13,5	6,45	5,75
	2 — 1	35,3	28,5	19,2	17,0	6,10	5,50
	1 — 0,5	30,2	24,8	17,0	28,3	5,70	5,00
	0,5 — 0,25	35,8	22,2	18,0	24,0	6,00	5,20
	0,25 — 0,105	43,3	19,9	36,1	0,7	7,30	6,00
	< 0,105	49,8	24,0	26,2	0	11,45	7,80
Massapé	7 — 4	24,4	24,0	40,8	10,8	6,65	5,70
	4 — 2	26,0	18,5	48,0	7,5	6,80	5,95
	2 — 1	24,6	20,9	40,3	14,2	6,50	5,50
	1 — 0,5	25,7	21,6	37,7	15,0	6,45	5,50
	0,5 — 0,25	23,0	27,5	33,0	16,5	6,60	5,60
	0,25 — 0,105	25,0	22,5	46,0	6,5	7,30	6,10
	< 0,105	22,6	22,2	55,2	0	9,10	6,90

No quadro 3, os resultados das determinações das características físicas dos agregados mostram que as porcentagens de argila, na terra-roxa, diminuem progressivamente dos agregados maiores até a classe de tamanho 1-0,5 mm, aumentando a seguir até atingir seu valor máximo naqueles menores do que 0,105 mm. A fração limo apresenta resultados algo diferentes: seu máximo é encontrado na classe de tamanho de agregados de 2-1 mm, o mínimo na classe 0,25-0,105 mm. Não existe, assim, correspondência entre os valores dessas duas frações granulométricas, mas pode-se observar que sua soma acompanha a variação encontrada na fração argila.

Os diferentes tamanhos de agregados do solo massapé não apresentam a mesma variação dos teores de argila encontrados na terra-roxa: êsses teores oscilam entre 22 e 26%, e as diferenças podem resultar de erros inerentes à análise. A fração limo apresenta maior variação, sem estar, aparentemente, relacionada com a argila; a soma das duas frações, ao contrário da terra-roxa, varia muito pouco entre 45 e 50%. A figura 1 representa os teores de argila das diferentes classes de tamanho dos agregados da terra-roxa e do massapé, e permite visualizar melhor os resultados.

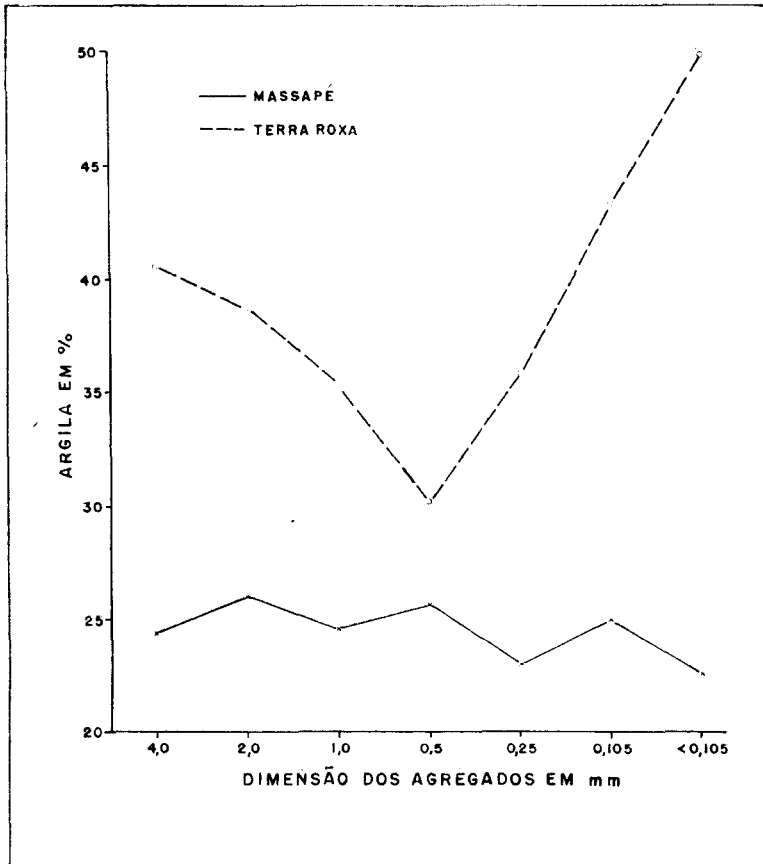


FIGURA 1. — Porcentagem de argila das diversas classes de tamanho de agregados dos solos massapé e terra-roxa. As retas que unem os pontos servem apenas para destacar as diferenças entre as quantidades dêsse elemento nos agregados dos dois solos.

A distribuição da argila do solo pelos diferentes tamanhos de agregados acha-se representada gráficamente na figura 2. As curvas desse gráfico foram obtidas através dos dados dos quadros 1 e 3; o cálculo de cada ponto foi feito por simples regra de três. Tomando-se como exemplo os agregados 7-4 mm da terra-roxa:

100% de agregados — 7-4 mm contém 40,5% de argila
(quadro 3)

6,7% de agregados — 7-4 mm do solo conterá x% de argila (quadro 1)

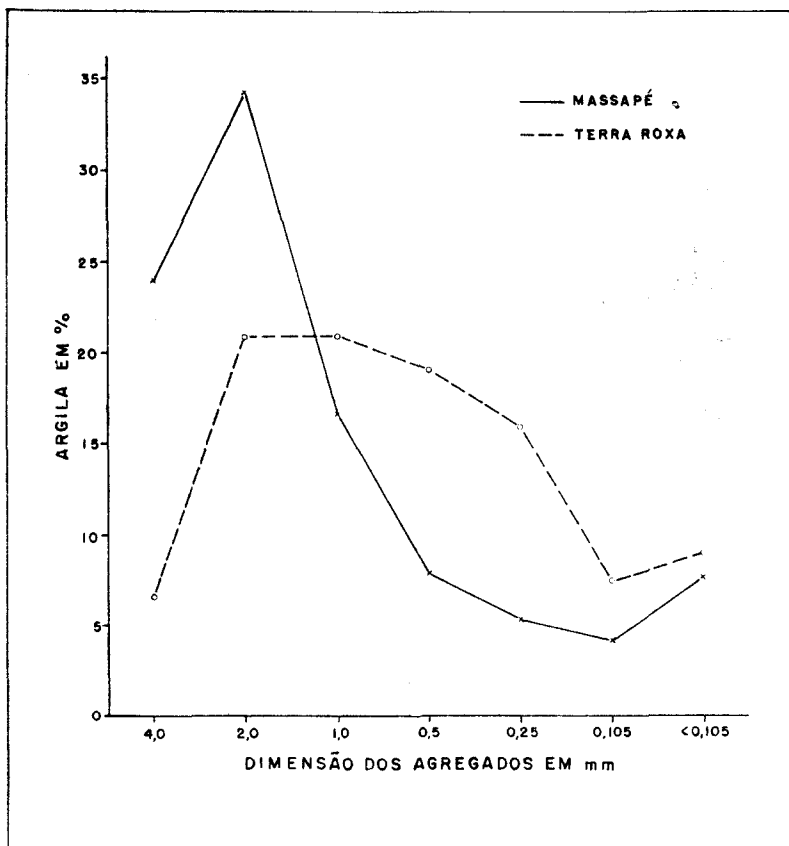


FIGURA 2. — Distribuição da argila do solo pelas diferentes classes de tamanho de agregados. As áreas circunscritas pelas curvas correspondem aos teores totais de argila dos dois solos estudados.

O exame da figura 2 permite verificar que a distribuição da argila do solo pelos agregados apresenta curva totalmente diversa daquela representada na figura 1, assemelhando-se à distribuição dos agregados por classes de tamanho (quadro 1). Pode-se verificar, por êsse gráfico, que no caso do massapé a maior parte da argila do solo, cêrca de 75%, encontra-se mobilizada nos agregados maiores do que 1 mm, ao passo que na terra roxa a argila distribui-se, igualmente, acima e abaixo dêsse limite dimensional.

A fim de verificar se haveria alguma modificação na composição da fração argila que compunha as diferentes classes de tamanho de agregados dêsses solos, foram feitas as análises por difração dos raios X e a determinação dos teores dos óxidos de ferro livres.

Na difração dos raios X, as três amostras de terra-roxa, referentes às classes de tamanho 4-2, 1-0,5 e $< 0,105$ mm, mostraram uma constituição bastante homogênea. Os principais componentes eram a caulinita e hematita, aparentemente em quantidades equivalentes, aparecendo como terceiro componente a gibbsita. Êsses resultados confirmam aquêles registrados para os solos do Estado de São Paulo e, em particular, para as terras roxas (latossolos roxos) (11). No massapé a difração dos raios X somente determinou a presença de caulinita em tôdas as classes de tamanho analisadas. Ao contrário da terra-roxa, os difratogramas mostraram "picos" bem formados, com reflexões intensas que caracterizariam ou uma maior cristalinidade do material ou a presença de partículas de maior tamanho do que no caso anterior. Os difratogramas não assinalaram a presença de nenhum outro mineral, fôssem óxidos de ferro (goetita ou hematita) ou de alumínio (gibbsita); se presentes, suas quantidades seriam tão reduzidas que os difratogramas não as registrariam.

Os resultados dos óxidos de ferro livres serão apresentados mais adiante, ao se tratar das análises químicas.

Ainda no quadro 3 são apresentados os dados referentes aos teores de umidade dos agregados dos dois solos. A variação, na terra-roxa, é semelhante à da argila: o mínimo se acha nas classes 1-0,5 mm, e o máximo na $< 0,105$ mm. Nesses agregados, ainda, enquanto as constantes de umidade a 1 atmosfera variam em proporções semelhantes às da argila, as de 1/3 de atmosfera apresentam maior variabilidade, o valor máximo atingindo o dôbro do mínimo. No massapé, os teores de umidade apresentam valores muito semelhantes em tôdas as classes de tamanho maiores do que 0,25 mm, aumentando bruscamente nos agregados menores e atingindo o valor máximo, como na terra-roxa, naqueles menores do que 0,105 mm. Assim como na terra-roxa, a variação dos valores da umidade a 1/3 de atmosfera é maior do que a 1 atmosfera.

QUADRO 4. — Características químicas das diversas classes de tamanho dos agregados dos solos terra-roxa (Latossolo Roxo) e Massapé (Podzólico Vermelho Amarelo-orto)

Solos	Classes de tamanho dos agregados	Acidez pH	C total	N total	Bases trocáveis			Soma de bases S	Capacidade de troca de cations T	Óxidos livres de ferro
					Ca + +	Mg + +	K +			
Terra-roxa	mm		%	%	e. mg/ 100 g	e. mg/ 100 g	e. mg/ 100 g	e. mg/ 100 g	e. mg/ 100 g	%
	7 — 4	5,90	2,43	0,15	4,97	0,79	0,17	5,93	9,05	—
	4 — 2	5,90	2,16	0,15	4,80	0,59	0,17	5,56	10,40	15,70
	2 — 1	5,70	2,08	0,14	3,98	0,87	0,15	4,99	9,00	22,50
	1 — 0,5	5,70	1,74	0,13	3,72	0,65	0,14	4,51	7,70	18,20
	0,5 — 0,25	5,80	2,11	0,13	3,92	0,69	0,15	4,76	7,90	14,80
	0,25 — 0,105	5,80	2,30	0,17	4,84	0,87	0,16	5,87	9,60	15,40
< 0,105	5,80	2,66	0,20	5,82	0,85	0,15	6,82	10,60	16,40	
Massapé	7 — 4	5,20	2,38	0,16	2,87	0,66	0,09	3,62	6,60	—
	4 — 2	5,15	2,42	0,17	2,71	0,41	0,08	3,20	6,50	4,66
	2 — 1	5,30	2,28	0,14	2,92	0,30	0,08	3,30	6,30	4,20
	1 — 0,5	5,30	2,34	0,16	2,77	0,22	0,10	3,09	6,40	3,00
	0,5 — 0,25	5,30	2,52	0,16	3,03	0,72	0,12	3,87	7,30	3,60
	0,25 — 0,105	5,20	2,52	0,15	2,97	0,70	0,15	3,82	6,90	3,60
	< 0,105	5,60	2,36	0,15	2,61	0,72	0,11	3,44	6,50	3,20

As características químicas dos agregados dos dois solos são apresentadas no quadro 4.

A variação dos teores dos vários elementos, na terra-roxa, se faz da mesma forma que para a argila: os menores correspondem à classe 1-0,5 mm, crescendo progressivamente para os dois extremos de tamanho. Na figura 3, acham-se representados os valores de matéria orgânica dos vários tamanhos de agregados (matéria orgânica = $C\% \times 1,72$). Percebe-se que essa curva apresenta inflexões muito semelhantes às apresentadas pela argila, e representada na figura 1. A soma de bases trocáveis e cada cation, individualmente, bem como a capacidade de troca de cations, varia de maneira semelhante. Pelos resultados do quadro 4, observa-se que a variação da soma de bases trocáveis é influenciada principalmente pelos teores de cálcio, muito menos pelos de magnésio e quase nada pelos de potássio trocáveis. O pH varia

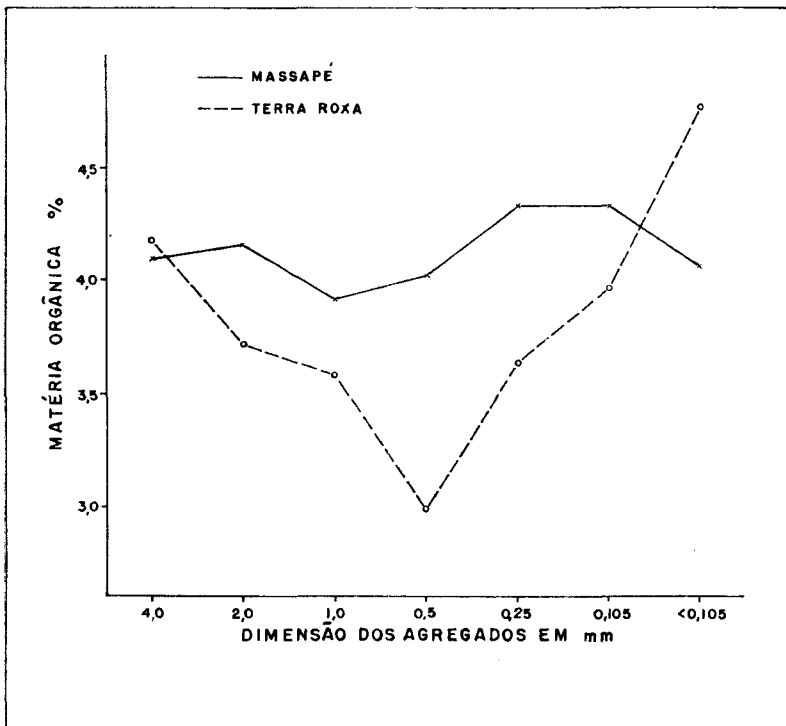


FIGURA 3. — Quantidades de matéria orgânica das diferentes classes de tamanho de agregados dos solos massapé e terra-roxa. As porcentagens de matéria orgânica foram calculadas por intermédio do $C\% \times 1,72$. A união dos vários pontos por retas permite destacar a variação dos teores nas diferentes classes de tamanho.

muito pouco de uma classe à outra de agregados, indicando que a saturação de bases do complexo se mantém bastante constante.

Quanto ao massapé, os valores mostram uma situação que não é muito diversa da verificada para a argila, com variações mínimas de uma classe à outra. No entanto, analisando a figura 3, observa-se que os níveis de matéria orgânica variam de uma classe à outra, porém dentro de limites estreitos, o mesmo ocorrendo com os valores da soma de bases trocáveis e de capacidade de troca de cátions. Essa analogia entre a variação dos níveis de matéria orgânica, capacidade de troca de cátions e soma de bases trocáveis indica haver uma certa relação entre eles. Da mesma forma que para a terra-roxa, a saturação de bases do complexo se mantém constante em tôdas as classes de tamanho de agregados, fazendo com que o pH praticamente não varie de uma classe à outra.

Os resultados referentes aos óxidos de ferro livres (quadro 4) mostram algumas particularidades que os distinguem dos outros. Para a terra-roxa, os teores mais elevados foram encontrados na

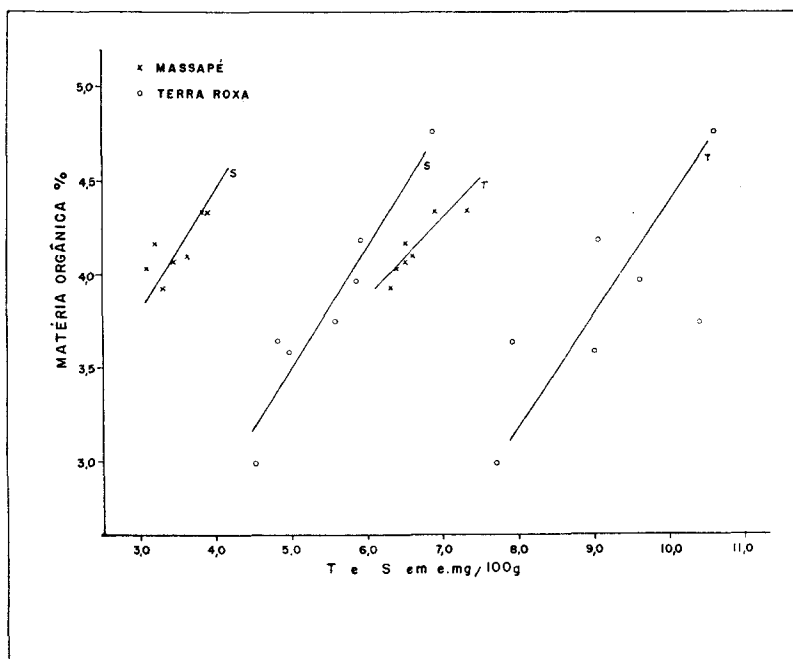


FIGURA 4. — Relações entre os teores de argila das diferentes classes de tamanho dos agregados e os valores da capacidade de troca de cátions (T) e os da soma de bases trocáveis (S). As retas não correspondem a valores calculados para a correlação, mas servem, simplesmente, para indicar essa tendência.

classe de tamanho 2-1 mm, e os menores na classe 0,5-0,25 mm, ao passo que a $< 0,105$ mm não chega a sobressair das outras. Esses resultados parecem mostrar que os agregados mais ricos em argila e matéria orgânica seriam, ao mesmo tempo, os mais pobres em ferro livre.

Quanto ao massapé, observa-se uma diminuição gradual, mas muito pequena, dos resultados das classes maiores, mais ricas em óxidos de ferro livres, para a classe 1-0,5 mm, aumentando, ligeiramente, a seguir. Com exceção da classe de tamanho 1-0,5 mm, os resultados parecem mostrar uma tendência à diminuição progressiva dos teores de ferro livres dos agregados maiores para os menores; além disso, a partir da classe de tamanho 1-0,5 mm, parece haver uma variação similar à registrada para a matéria orgânica, que se encontra representada gráficamente na figura 3.

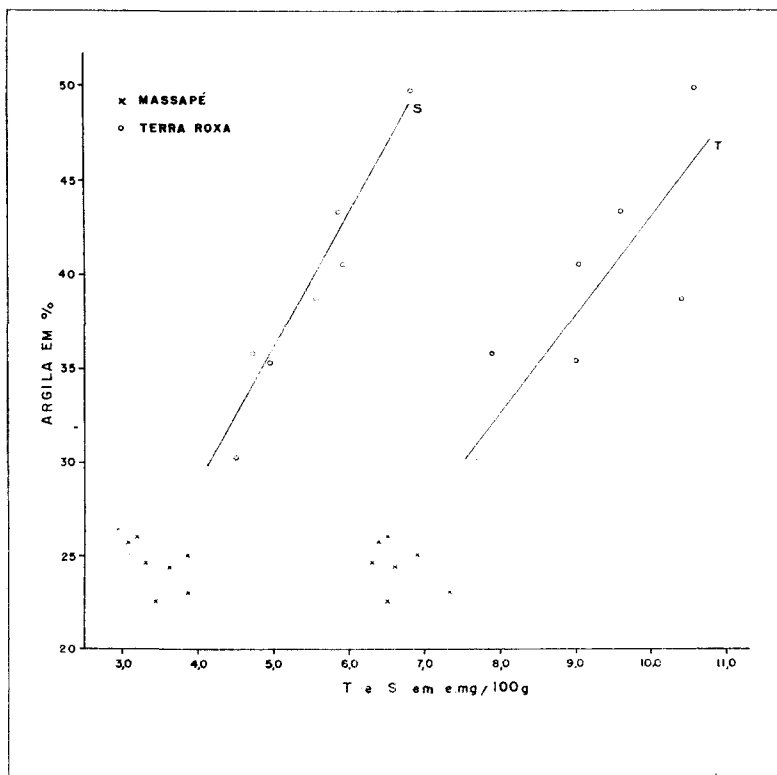


FIGURA 5. — Relações entre os teores de matéria orgânica dos agregados ($C\% \times 1,72$) e os valores da capacidade de troca de cations (T) e bases trocáveis (S). As relações foram materializadas por retas que, apesar de não terem sido calculadas, permitem visualizar as tendências.

Relacionando os dados da capacidade de troca e soma de bases trocáveis com os de argila (figura 4), pode-se afirmar que o aumento dos teores dêste último provoca normalmente um aumento dos valores S e T. Uma relação idêntica existe entre a capacidade de troca e soma de bases trocáveis dêesses solos e os teores de matéria orgânica (figura 5).

Nas duas figuras, as relações existentes entre êsses valores foram materializadas por intermédio de retas que, apesar de não terem sido calculadas, facilitam a leitura dos gráficos. Pode-se observar que a soma de bases da terra-roxa mantém uma relação mais estreita com os valores de argila e matéria orgânica do que a capacidade de troca. No massapé, essa relação aparece com menor nitidez, devendo-se lembrar a pequena variação dos teores nos diversos tamanhos de agregados dêesse solo. Com respeito à argila, pode-se observar que os pontos que materializam essa relação, no caso do massapé (figura 4), encontram-se no prolongamento da reta da terra-roxa. Por outro lado, na terra-roxa, observa-se maior dispersão dos pontos ao redor da reta que representa as relações entre a capacidade de troca e os teores de argila ou matéria orgânica, ao contrário da soma de bases trocáveis, que parece manter melhor correlação com aquêles valores.

Êsses aspectos mostram que, mesmo dentro de cada tamanho de agregados, os valores de capacidade de troca de cátions e soma de bases trocáveis guardam relações bastante estreitas com os teores de argila ou matéria orgânica, como ocorre normalmente nos solos.

4 — DISCUSSÃO

Ainda não é possível correlacionar todos os resultados analíticos com as características morfológicas da estrutura dos solos estudados.

Certos aspectos, observados no campo (11), podem ser confirmados pela análise de laboratório: o solo massapé apresenta maior quantidade de agregados grosseiros do que a terra-roxa, e mais estáveis. Os testes de laboratório conseguem representar êsses aspectos encontrados no campo, mostrando, assim, terem valor prático. Por outro lado, a definição do estado de agregação deve ser tomada como um simples teste, pois não representa tôdas as classes de tamanho possíveis, já que faz passar, indistintamente, todo o material em peneiras de 7 mm de abertura de malha.

As outras características descritas no campo, tais como a forma e o arranjo dos agregados, ainda não encontraram, em laboratório, uma forma de medida. Deve-se salientar que a forma, por exemplo, não pode ser descrita após as peneiragens, devido ao efeito abrasivo que estas teriam sôbre a superfície dos agregados.

Os agentes mais ativos na formação e estabilização dos agregados, a argila e a matéria orgânica, apresentam variações que permitem uma discussão mais ampla.

O papel da argila não está bem esclarecido (1). Vários autores que estudaram a questão observaram que a agregação das partículas é devida a um conjunto de ações de natureza física, físico-química, e que êsses fenômenos poderiam provocar a cimentação em direções preferenciais, em função do tipo de argila; finalmente, a presença de matéria orgânica e óxidos de ferro, introduziriam fatores de alteração dêsse comportamento (1, 17, 19). No tocante à estabilidade nágua dos agregados, os resultados das pesquisas são ainda menos conclusivos, tendo sido assinalado por Koth e Page (9) que o sistema caulinita-húmus, presente nos solos estudados neste trabalho, não formaria agregados estáveis, devido à pequena superfície ativa dêsse tipo de argila.

A ação dos óxidos de ferro sôbre a estrutura dos solos, principalmente tropicais, ainda é assunto bastante controvertido. Baver (1) observa que a grande estabilidade nágua de certos solos lateríticos seria devido à presença de óxidos desidratados de ferro e alumínio. Para Henin (8), a presença de substâncias de baixo poder de umectação, como os hidróxidos de ferro e os humatos, confeririam maior estabilidade nágua aos agregados. De acôrdo com Fripiat e Gastuche (4), a caulinita adsorveria os hidróxidos de ferro, com formação de uma estrutura desordenada; cada hidróxido adsorvido formaria nova superfície de adsorção, onde outro elemento iria se fixar. Já Deshpande e Greenland (3), trabalhando com solos tropicais ferralíticos, estudaram, experimentalmente, o papel dos óxidos de ferro na formação de agregados, e verificaram que sua presença não seria responsável por êsse fenômeno.

Vários autores verificaram a importância da matéria orgânica na formação e estabilidade da estrutura dos solos (2, 9, 12, 19). Êsses autores observaram que, mais do que a quantidade, é a qualidade da matéria orgânica a responsável pela sua ação na estrutura. Nesse aspecto, a atividade biológica tem importância fundamental, por condicionar as substâncias formadas.

Os resultados da análise granulométrica (quadro 3) indicam que o principal responsável pela estabilidade nágua dos agregados, assim como pela formação de agregados grosseiros, não seria o total da fração argila mas, sim, a qualidade dos elementos que compõem essa fração granulométrica. Na terra-roxa, onde as porcentagens de argila variam de 40 a 30%, a estabilidade nágua mantém-se bem constante, devendo-se salientar que a estabilidade nágua foi um pouco maior justamente com a porcentagem mais baixa. A estabilidade nágua dos agregados do massapé, bem mais elevada do que na terra-roxa, corresponde a teores de argila mais baixos; além disso, o massapé forma maior quantidade de agre-

gados grosseiros (quadro 1). Esses aspectos levam a pensar que tanto o estado de agregação como a estabilidade nágua dos agregados, poderiam ser influenciados pela variação da qualidade da caulinita e pelos teores de óxidos livres de ferro.

A quase totalidade da fração argila do massapé é constituída por caulinita, ao passo que na terra-roxa a hematita e caulinita aparecem em quantidades mais ou menos equivalentes, acompanhadas de gibbsita. Os difratogramas de raios X de massapé revelaram, também, que a caulinita ou apresentava maior grau de cristalinidade ou suas partículas eram maiores, isto é, essas partículas apresentariam maiores superfícies ativas, que possibilitariam formar agregados maiores e mais estáveis. Essa observação parece mostrar que, nessas condições, o sistema caulinita-húmus seria capaz de originar agregados grosseiros e estáveis, contrariando a afirmação de Koth e Page (9).

Os dados apresentados neste trabalho parecem mostrar uma ação muito reduzida, ou mesmo negativa, dos óxidos de ferro sobre a formação e estabilidade nágua dos agregados, quando comparados os dados referentes ao solo mais rico nesse elemento, a terra-roxa, com os do massapé. Os resultados dos quadros 2 e 4, mostram que o valor mais elevado de ferro livre corresponde a um índice médio de estabilidade nágua. O trabalho de Lemos e outros (11) parece favorecer esta hipótese, ao mostrar que a terra-roxa estruturada, com menores teores de ferro e com fração argila constituída de caulinita predominante e goetita ou hematita em menores proporções, apresenta maior quantidade de agregados grosseiros. Quanto ao massapé, os resultados dos quadros 2 e 4 mostram uma ligeira diminuição da estabilidade nágua dos agregados da classe 4-2 para 2-1 mm, ao mesmo tempo que ocorre uma pequena diminuição do teor de ferro livre; estes resultados, no entanto, não parecem significativos. É possível que, de acordo com Fripiat (4), haja um recobrimento das superfícies ativas da caulinita pelo hidróxido de ferro, diminuindo assim seu poder cimentante.

Há um aspecto de campo que talvez esteja relacionado com o teor de ferro livre. O massapé apresenta tendência à formação de agregados subangulares, ou mesmo regulares, enquanto que a terra-roxa forma agregados granulares. Estes últimos poderiam ser a consequência do desarranjo da estrutura, provocado pela presença de quantidade elevada de ferro adsorvida pela caulinita, tal como fôra observado por Fripiat e Gastuches (4), ocasionando uma menor orientação na cimentação das partículas e originando os agregados granulares. No massapé, ao contrário, a maior orientação das partículas cimentadas originaria agregados mais angulosos; não se deve esquecer aqui a possível influência do tipo de partículas de caulinita registradas pelos raios X.

No entanto, os dados obtidos até o momento são ainda insuficientes para mostrar a existência de uma ação específica dos óxidos de ferro sobre os aspectos da estrutura discutidos neste trabalho.

Finalmente, a análise dos dados apresentados nos quadros 2 e 4 permite observar que a estabilidade nágua dos agregados das várias classes de tamanho dos agregados da terra-roxa não parece estar relacionada aos teores de carbono total, pois permanece mais ou menos invariável enquanto estes diminuem. Esses resultados estariam, aparentemente, em contradição com os apresentados anteriormente por Queiroz e Grohmann (14), que registraram a existência de uma relação entre os dois valores. É possível que, neste caso, a parcela de maior atividade da matéria orgânica sobre a estrutura permaneça invariável nos diferentes tamanhos de agregados, concorrendo, assim, para manter estabilidade nágua, apesar da diminuição dos teores de carbono total. A diminuição dos valores da relação C/N da classe 7-4 para 1-0,5 mm talvez estivesse indicando essa variação da qualidade da matéria orgânica. Quanto ao massapé, os diferentes tamanhos de agregados não mostram, praticamente, variação dos teores de carbono total. Em trabalho anterior (15), foi encontrada uma correlação entre esses teores e a estabilidade nágua dos agregados, em solos de parcelas submetidas a diferentes tipos de uso, indicando a possibilidade de ocorrência dessa correlação nesse solo.

Por fim, chama-se a atenção para o fato de que este trabalho não pretende apresentar conclusões definitivas a respeito do papel exercido pelos vários elementos estudados na formação e estabilidade dos agregados, mas sim chamar a atenção para os problemas que o assunto envolve. Assim, a discussão apresentada permite as seguintes observações finais, que seriam outros tantos lembretes para futuras pesquisas:

a) A fração argila dos solos parece exercer um papel importante na agregação. Os resultados indicam que o principal problema é reconhecer o papel exato que cada um dos componentes dessa fração desempenha: espécies mineralógicas presentes e proporções, além das interações. Sob esse aspecto, os diversos componentes da fração argila dos solos, caulinita, gibbsita, goetita (?) ou hematita (?), desempenhariam funções diversas, ainda mal esclarecidas.

b) A fração orgânica dos solos, extremamente dinâmica e estreitamente relacionada à atividade biológica parece também exercer uma ação bastante nítida sobre a estrutura. A análise dos dados, porém, mostrou a necessidade de se reconhecer a composição do húmus presente, bem como a existência de microrganismos nos agregados, a fim de poder definir com exatidão a parte de cada um nos fenômenos.

c) Um outro fator de estabilidade deixou de ser analisado: a porosidade, que, segundo alguns autores, teria importância muito grande no fenômeno de arrebentamento dos agregados (8, 20). Com efeito, a entrada de solução pelos capilares aprisionaria o ar no seu interior, aumentando a pressão interna e podendo provocar o arrebentamento dos agregados. O cultivo provocaria variações de estabilidade, modificando a distribuição dos poros por classe de tamanho, como mostraram Laws e Evans (10). É possível que, nos solos estudados neste trabalho, haja uma variação da distribuição dos poros, e, mais do que isso, é possível que essa distribuição seja diferente nas diversas classes de tamanho de agregados de um mesmo solo. As constantes de umidade (quadro 3), parecem mostrar indícios desse fato: é interessante observar que as maiores variações nos agregados foram encontradas na capacidade de campo (1/3 de atmosfera), enquanto que a umidade equivalente (1 atmosfera) variava menos de uma classe de tamanho à outra. Isso indicaria que os poros menores do que os correspondentes a essas constantes de umidade apresentariam variação menor ainda, de uma classe de tamanho à outra. É possível que esse fenômeno, se se verificar, seja responsável, pelo menos em parte, pelos comportamentos estudados.

d) Finalmente, também deixou de ser analisada a influência exercida pelos íons presentes na solução ou adsorvidos pelo solo. Em trabalhos anteriores (14, 15) foi assinalada a possibilidade de uma interferência do cálcio trocável, tanto no estado de agregação quanto na estabilidade nágua dos agregados. Um dos problemas que envolvem a influência dos diversos íons é o da ação flocculante ou dispersante que possam apresentar.

5 — CONCLUSÕES

Este trabalho, como foi visto no capítulo anterior, permitiu, principalmente, levantar problemas que, de futuro, deverão receber a atenção dos pesquisadores. As conclusões gerais a que se pôde chegar, foram as seguintes:

A determinação do estado de agregação, pelo método proposto, constitui-se numa maneira válida de confirmar as descrições morfológicas de campo, principalmente no que se refere ao tamanho dos agregados. O teste de estabilidade nágua também permite confirmar observações de campo sobre a resistência dos agregados.

Do ponto de vista estrutural, os dois solos estudados se diferenciam, não só pelo estado de agregação e estabilidade nágua, como também pela composição física e química das diversas classes de tamanho de agregados. Os agregados da terra-roxa apresentam uma variação nítida e sistemática dos valores analisados,

em função do tamanho, ao contrário do massapé, cujos níveis permanecem mais ou menos invariáveis nas diversas classes de tamanho. Um elemento analisado, o ferro livre, escapa a essa regra, principalmente na terra-roxa.

Há uma relação muito nítida entre os níveis de argila e matéria orgânica, dos diferentes tamanhos de agregados, e os valores de capacidade de troca de cátions e soma de bases trocáveis.

O estudo da fração argila dos diferentes tamanhos de agregados mostrou uma composição mineralógica constante, tanto na terra-roxa quanto no massapé. No entanto, foi registrada uma diferença considerável de composição, entre os dois solos: o único mineral encontrado na fração argila do massapé foi a caulinita, ao passo que na terra-roxa êsse mineral estava acompanhado de quantidades equivalentes de hematita, além de gibbsita em menores parcelas.

O estudo da composição física e química dos agregados possibilitou levantar uma série de problemas, a respeito do papel dos principais agentes de formação da estrutura. Os principais pontos dessa discussão seriam os seguintes:

O teor da fração argila do solo tem menor importância, dentro de certos limites, do que sua composição mineralógica qualitativa e quantitativa.

Foram assinaladas diferenças estruturais entre a terra-roxa e o massapé, que poderiam estar relacionadas ao tipo de argila presente nesses solos.

Os óxidos de ferro livres não teriam função cimentante muito acentuada, sendo mesmo possível que a presença de um excesso desses óxidos pudesse ter efeito depressivo sobre a formação de agregados grosseiros e estabilidade nágua.

Não foi encontrada correlação entre os teores de carbono total e a estabilidade nágua dos agregados. No entanto, a variação da relação C/N nos agregados terra-roxa poderia indicar a ocorrência de modificações de composição da matéria orgânica nas diversas classes de tamanho.

Por fim, os teores de umidade indicam a possibilidade de haver certa relação entre microporosidade e estabilidade nágua dos agregados.

ANALITICAL CHARACTERISTICS OF THE AGGREGATES OF THE TERRA ROXA SOIL (LATOSSOLO ROXO) AND MASSAPÉ (PODZOLIC YELLOW RED ORTHO) SOIL

SUMMARY

In the field, the "terra-roxa" soil presents a structure of small granules, of stable aggregates. The massapé soil shows a subangular structure,

medium to large, of stable aggregates. The analytical results of the laboratory confirm these descriptions of the field, showing that the condition of aggregation of these soils, as defined according to the distribution of the aggregates by size classes, presents remarkable differences: the massapé soil contains a greater amount of rough aggregates than the "terra roxa", and its stability in the water is also higher.

The physico-chemical characteristics (texture, moisture, pH, organic matter, N, Ca, Mg, K and exchange capacity) determined in all sizes of aggregates, showed that those of "terra-roxa" present a clear and constant variation of the clay content in function of the size: the larger and the smaller aggregates present the higher contents, and the medium ones the lower contents. All the other analysed values show variation to the same effect. The aggregates of "massapé" soils have got practically the same clay contents in all size classes, as well as values similar to the other analysed elements.

Of the analysed elements, only the oxyds free of iron did not show this behavior. There was also stated a rather distinct ratio between the contents of clay and the values of organic matter, sum of bases and exchange capacity, in all classes of size of the studied aggregates.

The results obtained show that the aggregates of "terra roxa" and "massapé" soils have well defined physico-chemical characteristics which distinguish them remarkably.

The authors try to study the influence of several elements analysed in the formation and stability in the water of the aggregates.

LITERATURA CITADA

1. BAVER, L. D. Soil physic.. 3.^a ed. New York, John Wiley & Sons, 1956. 489p.
2. BROWNING, G. M. & MILAM, F. M. Effect of different types of organic materials and lime on soil aggregation. Soil Sci. 57:91-106. 1944.
3. DESHPANDE, T. L., GREENLAND, D. J. & QUIRK, J. P. Rôle of iron oxydes in the bonding of soil particles. Nature, London 201(4914):107-108. 1964.
4. FRIPIAT, J. J. & GASTUCHE, M. C. Étude physico-chimique des surfaces des argiles. Les combinaisons de la kaolinite avec les oxydes de fer trivalent. Bol. INAEC, Ser. Scient. 54, 1952. 60p.
5. GROHMANN, F. Análise de agregados de solos. Bragantia 19:[201]-213. 1960.
6. ——— & ARRUDA, H. V. Influência do preparo do solo sobre a estrutura da terra-roxa legitima. Bragantia 20:[1203]-1209. 1961.
7. ——— & CONAGIN, A. Técnica para o estudo da estabilidade de agregados do solo. Bragantia 19:[329]-343. 1960.
8. HENIN, S. Étude physico-chimique de la stabilité structurale des terres. C.N.R.A., Paris, 1938.
9. KOTH, E. M. & PAGE, J. B. Aggregate formation in soils with special reference to cementing substances. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 11: 27-34. 1946.

10. LAWS, W. D. & EVANS, D. D. The effect of longtime cultivation on some physical properties of two rendzine soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 14:15-19. 1949.
11. LEMOS, R. C., BENNEMA, J., SANTOS, R. D. (e outros). Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de São Paulo. Rio de Janeiro. S.N.P.A., 1960. 634p. (Boletim 12)
12. MCCALLA, T. M. Influence of microorganisms and some organic substances on soil structure. *Soil Sci.* 59:287-297. 1945.
13. PAIVA, J. E. (neto), NASCIMENTO, A. C., KÜPPER, A. (e outros). Solos da Bacia Paraná-Uruguay. São Paulo, Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguay, 1961. 168p.
14. QUEIROZ, J. P. (neto) & GROHMANN, F. Estado de agregação da terra-roxa (série Chapadão) num ensaio de adubação de milho. *Bragantia* 22:[635]-646. 1963.
15. ———, OLIVEIRA, J. B. & GROHMANN, F. Características da estrutura de um podzólico vermelho amarelo da Estação Experimental de Monte Alegre do Sul (No prelo)
16. ROBICHET, O. Recherches sur les oxydes de fer et de manganèse dans les sols. *Ann. Agro., série A*, 4:511-572. 1957.
17. SIDERI, D. L. On formation of structure in soil. I — The structure of soil colloids. *Soil Sci.* 42:381-393. 1936.
18. VERDADE, F. C. Observações sôbre métodos de determinação da capacidade de troca de cations do solo. *Bragantia* 15:[393]-401. 1956.
19. WERSCHININ, P. W. Die physikalischen Grundlagen der Strukturbildung. *In Probleme der Krümelstabilitätsmessung und der Krümelbildung*, Berlin, Tagungsberichte 13:129-138. 1958.
20. YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agron.* 28:337-351. 1936.