

## TÉCNICA PARA O ESTUDO DA ESTABILIDADE DE AGREGADOS DO SOLO (\*)

F. GROHMANN, *engenheiro-agrônomo, Seção de Agrogeologia, e A. CONAGIN, engenheiro-agrônomo, Seção de Técnica Experimental, Instituto Agrônomo*

### RESUMO

Os autores apresentam neste trabalho uma técnica para o estudo da estabilidade de agregados do solo. Vários tipos de solo sob diferentes condições de uso foram estudados.

Amostras em triplicata, de 25 g de agregados entre 7 e 4 mm, foram agitadas em agitador modelo Wagner, com 40 r.p.m., durante 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 e 128 minutos e depois fracionadas pelo método da peneiragem lenta em água.

Os agregados  $> 2$  mm diminuíram em peso com o aumento do tempo de agitação, aumentando por outro lado os agregados  $< 0,2$  mm. Os agregados médios (2-0,2 mm) variaram em peso de forma diferente nos vários solos.

Estudou-se analiticamente a relação funcional entre o tempo de agitação e o peso dos agregados, pois os intervalos de tempos de agitação estudados formavam uma progressão geométrica, que proporciona intervalos iguais em escala logarítmica.

A análise estatística revelou diferenças altamente significativas tanto para os teores médios das classes de agregados  $> 2$  e  $< 0,2$  como para a interação classes  $\times$  intervalos de agitação. Um polinômio do 2.º grau quase sempre explica de forma satisfatória a relação funcional para essas duas classes de agregados.

É apresentada, também, a marcha para o cálculo dos valores esperados resultantes da adaptação de um polinômio do 2.º grau.

Os valores dos coeficientes A e B' dos diferentes polinômios permitiram estudar a influência, sobre os agregados do solo, das diferentes condições de uso a que o solo estava sujeito.

A técnica apresentada para o estudo da estabilidade dos agregados do solo foi bastante eficiente e apresentou pequena variabilidade experimental.

### 1 — INTRODUÇÃO

A estrutura do solo assume característica importante quando é examinada em relação ao crescimento das plantas ou sob o ponto de vista da conservação do solo e da água.

As condições ideais de estrutura em relação ao desenvolvimento das plantas ainda não estão devidamente determinadas, apesar dos estudos que se fazem nesse sentido.

(\*) Trabalho apresentado no VII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, realizado em Piracicaba, São Paulo, de 20 a 30 de julho de 1959.

Recebido para publicação em 10 de outubro de 1959.

Um dos fatores a ser considerado no problema da estrutura é a estabilidade dos agregados do solo, quando sujeitos a um excesso de água. A estabilidade estrutural em água é uma medida relativa, porém, se realizada em condições experimentais bem definidas e controladas, oferece medida com a qual é possível comparar as condições estruturais de diferentes tipos de solo, ou de um mesmo solo sujeito a diferentes condições de uso.

A técnica empregada para a caracterização da estabilidade dos agregados do solo envolve a agitação mecânica em água de uma amostra de agregados, sob tempo arbitrário (2, 6).

Os seguintes pontos foram considerados no presente trabalho:

- a) possibilidades da aplicação do método para o estudo da estabilidade dos agregados do solo;
- b) natureza e variabilidade do erro experimental fornecido pelo método;
- c) tipo de relação funcional entre as variáveis, tamanho de partículas e tempo de agitação;
- d) escala de tempo que permita, nos estudos futuros, melhor caracterização dos solos do Estado de São Paulo.

Para descrever a estabilidade da amostra inicial foi utilizada a distribuição em classes de tamanhos, depois de vários tempos de agitação.

## 2 — MATERIAL E MÉTODO

Para o estudo da estabilidade de agregados consideraram-se os tipos de solo massapê, roxa-misturada, roxa-legítima e arenito Bauru, submetidos a várias condições de uso (5). Foi objeto de estudo a camada de 0-30 cm de profundidade, cuja caracterização granulométrica é apresentada no quadro 1.

A medida da estabilidade dos agregados foi obtida colocando-se 25 g de agregados (7-4 mm) em garrafas de Stohman com 450 ml de água e agitadas mecânicamente em um agitador rotativo modelo Wagner. Adotou-se a escala geométrica com os intervalos de 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 e 128 minutos de agitação. A agitação para cada tipo de solo foi feita em triplicata, sendo a velocidade do agitador de 40 r.p.m. Após a agitação as amostras foram fracionadas pelo método da peneiragem lenta em água, durante 15 minutos (4).

QUADRO 1. — Análise granulométrica de vários tipos de solo, sob diferentes condições de uso

Tipo e uso do solo	Areia grossa	Areia fina	Limo	Argila
	%	%	%	%
Massapê de pasto .....	8,3	50,0	18,3	23,5
Massapê cultivado anualmente .....	9,5	43,0	22,0	25,5
Roxa-legítima de mata .....	2,5	23,5	34,0	40,0
Roxa-legítima cultivado anualmente .....	4,7	23,3	24,0	48,0
Roxa-misturada não cultivado .....	20,3	14,1	24,1	41,5
Roxa-misturada cultivado anualmente .....	23,2	18,5	25,2	33,1
Arenito Bauru de mata .....	46,0	37,0	3,5	13,5

A distribuição em classes de tamanhos depois dos vários tempos de agitação foi utilizada para descrever a estabilidade dos agregados da amostra inicial.

### 3 — RESULTADOS E DISCUSSÃO

O intervalo de variação do tempo de agitação adotado foi suficiente para efetuar uma desagregação completa dos agregados nos solos massapê, roxa-misturada e arenito Bauru. Com relação à terra-roxa-legítima de mata foram precisos intervalos de tempo ainda maiores, pois só com 256 minutos de agitação a desagregação foi praticamente completa; para a terra-roxa-legítima cultivada precisaríamos de tempos de agitação maiores ainda.

No quadro 2 encontram-se os valores, em gramas, dos agregados estáveis em água, dos vários tipos de solo.

De uma maneira geral, o aumento do tempo de agitação redundou em aumento no poder de desagregação dos agregados do solo. Os agregados > 2 mm tenderam a diminuir com o aumento do tempo de agitação, aumentando, por outro lado, a quantidade de agregados < 0,2 mm como pode ser observado no quadro 2.

A quantidade de agregados médios, entre 2 e 0,2 mm, variou em função do tempo de agitação, de forma diferente nos vários solos. Assim, na terra-roxa-legítima de mata, os agregados entre 2 e 0,2 mm aumentaram em função do tempo; já na massapê cultivada e terra-roxa-misturada não cultivada a quantidade desses agregados dimi-

QUADRO 2. — Valores em gramas, dos agregados estáveis em água de vários tipos de solos, correspondentes a três repetições (\*)

Tempo de agitação em minutos	Classe de agregados	Terra-roxa-legítima		Terra-roxa-misturada		Massapé		Arenito Bauru meta
		meta	cultivada anualmente	1.º ano de cultivo	não cultivada	pasto	cultivado anualmente	
1	a	63,61	44,10	37,36	16,80	37,14	3,28	16,65
	c	4,59	9,11	9,61	18,48	13,28	34,73	14,95
2	a	61,77	38,09	32,64	13,42	29,65	2,06	16,30
	c	5,14	12,24	10,54	20,31	18,20	38,00	17,30
4	a	58,08	32,97	26,72	9,03	19,92	1,51	8,10
	c	7,10	19,37	12,71	24,92	25,35	38,35	22,01
8	a	55,23	32,73	18,24	8,11	11,96	1,16	4,00
	c	9,93	21,41	17,25	27,50	32,54	43,92	25,45
16	a	51,56	25,70	14,86	5,16	5,95	1,20	1,57
	c	12,37	26,86	21,76	32,12	39,13	48,12	28,58
32	a	42,72	19,70	8,92	4,77	2,43	1,58	0,85
	c	20,78	33,05	29,22	37,20	47,41	54,45	31,68
64	a	19,08	14,44	2,71	4,07	1,54	1,53	0,15
	c	37,35	39,52	36,91	40,18	53,18	58,91	36,03
128	a	5,34	4,24	0,57	1,23	1,06	1,15	
	c	51,38	51,37	45,33	46,64	60,09	64,15	
256	a	0,70	6,70					
	c	60,04	52,52					

(\*) a = agregados > 2 mm; c = agregados < 0,2 mm

nuiu à medida que se aumentava o tempo de agitação. Na terra-roxa-legítima cultivada êsses agregados mantiveram-se mais ou menos equivalentes em pêso, nos diferentes intervalos de tempo. Na terra-roxa-misturada, primeiro ano de cultivo, na massapê de pasto e ainda no arenito de Bauru de mata, as quantidades de agregados médios aumentaram um pouco em pêso até certo ponto e decresceram a seguir. Êsses resultados poderão ser obtidos facilmente subtraindo-se de 75 a soma das classes de agregados  $> 2$  mm e  $< 0,2$  mm, encontrados no quadro 2.

A relação funcional entre o tempo de agitação e o pêso dos agregados pôde ser estudada analiticamente. Isso foi facilitado por ter sido o experimento planejado de forma a que os intervalos de tempo de agitação constituíssem uma progressão geométrica, a qual permitiu explorar um intervalo grande de tempo de agitação (esta escala proporciona intervalos iguais em escala logarítmica). Isto facilitou sobremaneira a análise estatística dos resultados. Russel e Feng (6) utilizaram uma escala  $\log. \times \log.$  para mostrar a relação funcional entre a estabilidade dos agregados e a intensidade de agitação. Foram obtidas retas, correspondentes a cada solo estudado, com a intensidade de agitação máxima de 64 minutos.

Os autores do presente trabalho, utilizando técnica idêntica, com escala logarítmica para os intervalos de agitação, obtiveram para os solos estudados retas bastante satisfatórias até o tempo de tratamento de 16 minutos. Porém, com o aumento da intensidade de agitação, foi obtida uma relação funcional que é quase sempre do tipo curvilíneo. Vê-se, nas figuras apresentadas, que certos tipos de solos sofrem uma desintegração mais rápida a partir de um certo ponto.

Efetuu-se a análise da variância das classes de agregados  $> 2$  mm e  $< 0,2$  mm. Obteve-se homogeneidade das variâncias e independência entre a média e o desvio padrão (coeficientes de variação diferentes em função da média), como pode ser visto no quadro 3. A análise conjunta dessas duas classes permite obter, por complemento, a informação sôbre a classe de agregados 2-0,2 mm (as três classes totalizam o pêso de 25 g).

As análises completas dos diferentes solos revelaram grandes diferenças devidas aos intervalos de tempo. Obtiveram-se diferenças altamente significativas entre os teores médios das duas classes  $> 2$  mm e  $< 0,2$  mm e ainda valores altamente significativos para a interação classes  $\times$  intervalos de agitação; os quadrados médios relativos a clas-

QUADRO 3. — Análise da variância, desvio padrão e coeficientes de variação das classes de agregados  $> 2$  mm e  $< 0,2$  mm para os vários tipos de solo, calculados na base de uma repetição (\*)

Solos	Classe dos agregados	Q. médios intervalos	Variâncias do erro	Desvio padrão	Médias	Coeficiente de variação
Terra-roxa-legítima de mata	a	152,1641**	0,1064	0,326	14,89	%
	c	97,8345**	0,0610	0,247	6,19	2,2
Terra-roxa-legítima cultivada anualmente	a	57,7423**	0,3254	0,570	8,83	6,5
	c	67,3079**	0,0783	0,280	8,87	3,2
Terra-roxa-misturada 1.º ano de cultivo	a	61,6495**	0,2442	0,494	5,92	8,3
	c	57,4282**	0,1237	0,352	7,63	4,6
Terra-roxa-misturada não cultivada	a	8,9246**	0,0806	0,284	2,61	10,9
	c	32,7984**	0,0241	0,155	9,75	1,6
Massapê de pasto	a	63,8220**	0,0891	0,298	4,57	6,5
	c	93,9869**	0,0993	0,315	12,05	2,6
Massapê cultivado anualmente	a	0,1689**	0,0182	0,135	0,56	24,0
	c	38,3766**	0,0968	0,311	15,86	2,0
Arenito Bauru de mata	a	16,8766**	0,0394	0,198	2,27	8,7
	c	19,3551**	0,1024	0,320	8,38	3,8

(\*) a = agregados  $> 2$  mm; c = agregados  $< 0,2$  mm  
 Erro ponderado utilizado = 0,1722 (excluindo o arenito Bauru)

ses foram altamente significativos em todos os solos estudados, exceto no caso da terra-roxa-legítima cultivada, que apresenta teores médios equivalentes para as duas classes de agregados. Os resultados podem ser vistos no quadro 4.

Usou-se o método dos polinômios ortogonais e calcularam-se os polinômios do 1.º, 2.º e 3.º graus (1). Na maioria dos casos um polinômio do 2.º grau explicou de forma satisfatória a relação funcional entre essas duas variáveis. Em poucos casos seriam necessários polinômios de 3.º grau e, talvez, mesmo outros de grau mais elevado. Por exemplo, no caso da massapê cultivada, agregados  $> 2$  mm, houve necessidade de um polinômio do 3.º grau para obter-se uma redução equivalente a 98,7% da soma de quadrados de tratamentos.

QUADRO 4. — Análise de variância da reunião das duas classes de agregados  $> 2$  mm e  $< 0,2$  mm

Fonte de variação	Terra-roxa-legítima		Terra-roxa-misturada		Massapê		Arenito Bauru
	mata	cultivada anualmente	1.º ano de cultivo	não cultivada	pasto	cultivado anualmente	mata
Classes	907,8451**	0,0192	35,3977**	711,1720**	671,4796**	2.208,4680**	392,4149**
Intervalos	3,2130**	0,3999	3,0085**	4,6689**	5,4306**	17,7416**	0,9431**
Interação	246,7855**	124,6505**	116,0692**	37,0541**	152,3782**	20,8040**	35,2887**
Erro	0,0836**	0,2019	0,1839	0,0524	0,0942	0,0574	0,0709

No quadro 5 encontram-se os resultados da relação funcional entre as variáveis para os agregados  $> 2$  mm e  $< 0,2$  mm.

### 3. 1 — CÁLCULO DOS VALORES ESPERADOS E ADAPTAÇÃO DE UM POLINÔMIO DE GRAU APROPRIADO

Da terra-roxa-misturada, 1.º ano de cultivo, foram tomados os agregados  $< 0,2$  mm como exemplo metodológico para o cálculo dos valores esperados e para a adaptação de um polinômio do 2.º grau.

A técnica da adaptação de um polinômio de grau apropriado é

QUADRO 5. — Redução porcentual na soma de quadrados para intervalos das classes  $> 2$  mm e  $< 0,2$  mm e da reunião de ambos (\*)

Classe	Polinômio	Terra-roxa-legítima		Terra-roxa-misturada		Massapê		Arenito Bauru
		mata	cultivada anualmente	1.º ano de cultivo	não cultivada	pasto	cultivado anualmente	mata
		%	%	%	%	%	%	%
$> 2$ mm (a)	linear	83,9	96,8	99,0	93,4	90,6	50,3	88,6
	quadrático	13,9	1,7	0,4	4,1	9,0	30,7	6,0
	cúbico	0,7	0,7	0,2	1,1	0,2	17,7	1,6
$< 0,2$ mm (c)	linear	82,0	96,5	93,8	98,7	99,8	97,3	99,6
	quadrático	16,6	2,5	6,1	0,9	0,0	1,9	0,0
	cúbico	0,7	0,6	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0
a + c	linear	85,3	42,4	3,7	84,1	40,0	87,4	14,3
	quadrático	5,0	10,6	92,4	14,0	59,0	3,3	57,0
	cúbico	0,4	0,0	0,8	1,3	0,0	0,7	15,4

(\*) a = agregados  $> 2$  mm; c = agregados  $< 0,2$  mm

a seguinte (3): inicia-se primeiramente por um polinômio do 1.º grau, efetuando-se para isso os seguintes cálculos:

$$Y = A + B'E'_1$$

onde

$$A = SY \div n$$

$$B' = SE'_1 \div SE'_1{}^2.$$

Para facilitar o cálculo, incluímos o quadro 6.

QUADRO 6. — Coeficientes dos polinômios ortogonais de 1.º, 2.º e 3.º graus e respectivos valores observados e esperados, estes últimos obtidos pelo cálculo do polinômio do 2.º grau (solo terra-roxa-misturada, 1.º ano de cultivo)

Unidades originais (em minutos)	Log. Unidades na base 2	E' <sub>1</sub>	E' <sub>2</sub>	E' <sub>3</sub>	Y (3 rep.)	Y' (valor esperado)
1	0	-7	+7	-7	9,61	9,40
2	1	-5	+1	+5	10,54	10,60
4	2	-3	-3	+7	12,71	13,13
8	3	-1	-5	+3	17,25	16,99
16	4	+1	-5	-3	21,67	22,18
32	5	+3	-3	-7	29,22	28,69
64	6	+5	+1	-5	36,91	36,54
128	7	+7	+7	+7	45,33	45,72

Temos:

$$A = 183,24 \div 8 = 22,9050$$

$$SE'_1 Y = 435,84 \quad SE'_1{}^2 = 168$$

$$B' = 435,84 \div 168 = 2,5943.$$

A redução na soma de quadrados para tratamentos devido à adaptação do polinômio do 1.º grau (na base de uma repetição), é calculada, como segue:

$$\text{Redução} = (SE'_1 Y)^2 \div r SE'_1{}^2 = 435,84 \div 3 \times 168 = 376,8978.$$

O resíduo é obtido subtraindo-se da S.Q. tratamentos, a redução devida ao polinômio do 1.º grau.

$$\text{Resíduo} = [401,9974 - 376,8978] \div 6 = 25,0996 \div 6 = 4,1833.$$

O resíduo  $401,9974 = 6 (57,4282)$ , onde o valor  $57,4282$  é encontrado no quadro 3.

Para ver se o mesmo contém só a parte aleatória faz-se o teste de F em relação ao erro experimental.

$$F = 4,1833 \div 0,1237 = 33,82^{**}.$$

Como a parte residual difere significativamente do erro experimental, tem-se a indicação que o polinômio adaptado não é ainda satisfatório. Deve-se tentar então um polinômio de grau mais elevado, ou seja, do 2.º grau. Êste apresenta a forma seguinte:

$$Y = A + B'E'_1 + C'E'_2.$$

Pelo uso dos polinômios ortogonais pode-se fazer o cálculo do polinômio do 2.º grau a partir do correspondente de 1.º grau, pela adição, tão somente, do termo  $C'E'_2$ , que se torna fácil de calcular; êste é definido da seguinte forma:

$$C' = SE'_2 Y \div SE'_2{}^2$$

$$SE'_2 Y = 111,64$$

$$C' = 111,64 \div 168 = 0,6645$$

$$SE'_2{}^2 = 168.$$

A redução devida à parte curvilínea é a que se segue:

Redução devida ao novo termo =

$$= (SE'_2 Y)^2 \div r SE'_2{}^2 = 111,64^2 \div 168 \times 3 = 24,7291.$$

Novo resíduo =

$$= [25,0996 - 24,7291] \div 5 = 0,3705 \div 5 = 0,0741.$$

O teste F passa a ser:

$$F = 0,0741 \div 0,1237 = 0,60 \text{ (não significativo).}$$

Tem-se agora a indicação de que a parte residual contém somente a parte aleatória (devida ao erro experimental). Nestas condições o polinômio do 2.º grau torna-se amplamente satisfatório. Êste tem a forma seguinte:

$$Y' = 22,9050 + 2,5943 E'_1 + 0,6645 E'_2.$$

Para se obter  $Y'_1$  (valor esperado correspondente ao tempo de 1 minuto de agitação) deve-se calcular:

$$Y'_1 = 22,9050 + 2,5943 (-7) + 0,6645 (+7) = 9,40.$$

Para dois minutos de agitação, tem-se:

$$Y'_2 = 22,9050 + 2,5943 (-5) + 0,6645 (+1) = 10,60 \text{ etc.}$$

Esses valores encontram-se na última coluna do quadro 5. De forma semelhante poder-se-iam calcular os valores esperados para as outras classes e para os diferentes solos.

Se se quiser o valor esperado correspondente ao intervalo de agitação de 40 minutos, precisa-se usar interpolação e nesse caso deve-se exprimir a curva em função dos valores originais. Para voltar aos valores originais em um polinômio do terceiro grau

$$Y' = A + B'E'_1 + C'E'_2 + D'E'_3$$

pode-se fazer:

$$E'_1 = E_1 = x \quad \text{onde} \quad x = X - \bar{X}$$

$$E'_2 = E_2 = \left( x^2 - \frac{n^2 - 1}{12} \right)$$

$$E'_3 = E_3 = \left( x^3 - \frac{3n^2 - 7}{20} x \right), \text{ etc.}$$

No caso considerado o polinômio calculado é do segundo grau

$$Y' = 22,9050 + 2,5943 E'_1 + 0,6645 E'_2. \quad (A)$$

Voltando às unidades originais, teremos (3):

$$E'_1 = E_1 = 2E_1 = 2x$$

$$E'_2 = E_2 = 1E_2 = \left( x^2 - \frac{n^2 - 1}{12} \right)$$

onde  $X = \log$  na base 2 do tempo de agitação (segunda coluna do quadro 6).

Nesse caso

$$\bar{X} = \frac{0 + 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7}{8} = \frac{28}{8} = 3,5.$$

Substituindo na equação (A) E' pelos seus valores em função de x obtêm-se:

$$Y' = 22,9050 + 2,5943 (2x) + 0,6645 \left( x^2 - \frac{63}{12} \right)$$

$$Y' = 19,4164 + 5,1886 + 0,6645 x^2. \quad (B)$$

No nosso caso, se quisermos saber o valor correspondente a 40 minutos de agitação deve-se fazer:

$$X = \log_2 40 = \log_{10} 40 \cdot \frac{1}{\log_{10} 2}$$

$$x = 1,60206 \cdot \frac{1}{0,30103} = 5,3219$$

$$x = X - \bar{X} = 5,3219 - 3,5000 = 1,8219.$$

Substituindo na equação B teremos:

$$Y' = 19,4164 + 5,1886 (1,8219) + 0,6645 (1,8219)^2$$

$$Y' = 31,0752 \approx 31,08.$$

Poder-se-ia voltar aos valores originais da 1.<sup>a</sup> coluna do quadro 6.

Para isso deve-se fazer

$$Y' = 19,4164 + 5,1886 (X - 3,5) + 0,6645 (X - 3,5)^2$$

$$Y' = 9,3964 + 0,5371X + 0,6645X^2.$$

Lembrando agora que  $X' = 2^x$  tem-se que

$$\log_{10} X' = X \log_{10} 2 \quad \text{ou} \quad X = \log_{10} X' \cdot \frac{1}{\log_{10} 2}.$$

No caso  $X = 5,3219$ .

Substituindo

$$Y' = 9,3964 + 0,5371 (5,3219) + 0,6645 (5,3219)^2 = 31,08$$

como anteriormente.

Pela inspeção da figura 1 nota-se que em quase tôdas as classes obteve-se um decréscimo tipicamente linear até o intervalo de tempo  $t = 4$  (que corresponde ao intervalo de 16 minutos de agitação). Se tal se verificasse de um modo geral para os diferentes solos, a adoção dos intervalos de agitação 1, 2, 4, 8 e 16 minutos permitiria que se

fizesse uma caracterização mais eficiente dos solos, pois poder-se-ia efetuar a comparação dos coeficientes  $A$  e  $B'$  dos diferentes polinômios  $Y' = A + B'E_{1,}$  para os quais existem testes estatísticos apropriados.

O valor  $A$  seria o valor médio da classe para a amplitude dos valores de agitação utilizados no experimento, enquanto que  $B'$  seria o coeficiente angular das retas que melhor se adaptariam aos intervalos de tempo utilizados, sendo  $A$  e  $B'$  valores obtidos pelo princípio dos quadrados mínimos.

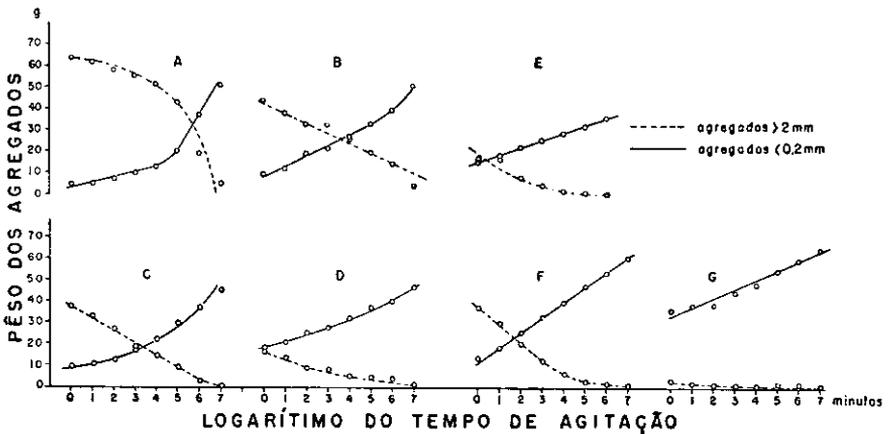


FIGURA 1. — Distribuição dos agregados estáveis em água depois de vários tempos de agitação, para os seguintes solos: *A* — terra-roxa-legítima, de mata; *B* — terra-roxa-legítima, cultivada anualmente; *C* — terra-roxa-misturada, 1.º ano de cultivo; *D* — terra-roxa-misturada, não cultivada; *E* — arenito Bauru, de mata; *F* — massapê, de pasto; *G* — massapê, cultivado anualmente.

Nesse caso é possível calcular um intervalo de confiança 95%, do tipo  $A \pm t \cdot s_A$  e  $B' \pm t \cdot s_{B'}$ , e como tal caracterizar de forma bastante satisfatória as várias frações dos diferentes solos. Tais valores para os cinco intervalos de tempo de agitação  $T = 1, 2, 4, 8$  e 16 minutos, encontram-se no quadro 7.

Nesse quadro os valores  $A, A_i$  e  $A_s$ ;  $B'_i$  e  $B'_s$  são respectivamente a média e os limites inferior e superior e ainda o coeficiente angular e seus limites inferior e superior (totais de 3 repetições).

Os valores  $B'$  obtidos no novo intervalo de valores 1-16 minutos diferem um tanto dos valores correspondentes obtidos em todo

QUADRO 7. — Valores obtidos para A e B' do polinômio do 1.º grau e seus respectivos limites de confiança 95% para as duas classes de agregados, quando se consideraram unicamente os intervalos de agitação até 16 minutos (valores na base de 3 repetições)

Coefi- cientes	Terra-roxa-legítima			Terra-roxa-misturada			Massapé			Arenito Bauru				
	mata		cultivada anualmente	1.º ano de cultivo		não cultivada	pasto		cultivado anualmente	mata				
	> 2 mm	< 0,2 mm	> 2 mm	< 0,2 mm	> 2 mm	< 0,2 mm	> 2 mm	< 0,2 mm	> 2 mm	< 0,2 mm	> 2 mm	< 0,2 mm		
A	58,050	7,826	34,718	17,798	25,964	14,356	10,504	24,666	20,924	25,700	1,842	40,624	9,324	21,658
A <sub>1</sub>	57,535	7,311	34,203	17,283	25,449	13,841	9,989	24,151	20,409	25,185	1,327	40,109	8,809	21,143
A <sub>n</sub>	58,565	8,341	35,233	18,313	26,449	14,871	11,019	25,181	21,439	26,225	2,357	41,139	9,836	22,173
B'	-3,064	2,035	-4,216	4,467	-5,940	3,033	-2,859	3,447	-8,007	6,604	-0,506	3,270	-4,246	3,541
B' <sub>1</sub>	-3,428	1,627	-4,580	4,103	-6,304	2,709	-3,223	3,083	-8,371	6,240	-0,870	2,906	-4,610	3,177
B' <sub>n</sub>	-2,700	2,400	-3,852	4,831	-5,576	3,447	-2,495	3,811	-7,643	6,968	-0,142	3,634	-3,882	3,905

o intervalo, o que é perfeitamente natural devido à relação funcional em todo o intervalo ser quase sempre curvilínea. Tais valores permitirão de forma bastante eficiente o estudo dos agregados de solos do mesmo tipo, que sofreram influências várias como rotação, cultivos etc.; prestar-se-ão, por isso, ao estudo dos efeitos dos vários tratamentos sobre a agregação do solo.

Os dados do quadro 7 mostram que a terra-roxa-legítima de mata apresenta, em média, maior proporção de agregados grandes em relação à terra-roxa-legítima cultivada, prevalecendo a situação inversa com os agregados menores que 0,2 mm.

O efeito da agitação se faz sentir com intensidade diferente nesse solo, sob diferentes condições de uso. A quantidade de agregados pequenos aumentou com maior intensidade em função do tempo de agitação (os dois coeficientes  $B'$  diferem).

No caso da terra-roxa-misturada houve diferenças entre as quantidades remanescentes de agregados grandes (valores  $A$  diferentes).

O solo que sofreu 1.º ano de cultivo apresentou maior quantidade de agregados grandes, tendo apresentado ainda maior intensidade de desagregação desses agregados (maior valor negativo de  $B'$ ), contribuindo, desse modo, na formação de maiores quantidades de agregados de tamanho intermediário, já que não houve diferenças entre os dois valores de  $B'$  na classe de agregados  $< 0,2$  mm.

Com relação ao solo massapê, o cultivado anualmente apresentou menores quantidades de agregados grandes, em relação ao mesmo solo em pasto (valores de  $A$  diferentes), sendo inversa a situação com relação aos agregados  $< 0,2$  mm. A intensidade de desagregação foi maior no massapê de pasto, formando-se em um dado intervalo de tempo de agitação maiores quantidades de agregados pequenos.

#### 4 — CONCLUSÕES

a) O estudo da estabilidade dos agregados pelo método da agitação em água foi eficiente na separação das diferenças entre as classes de solos do mesmo tipo sujeitos a diferentes condições de uso.

b) Obteve-se, na maioria dos casos, uma relação linear satisfatória entre os intervalos de 1 a 16 minutos de agitação.

c) Face à pequena variabilidade experimental obtida, o que revela grande precisão do método, pode-se reduzir o número de repetições para duas, continuando-se a obter ainda boa estimativa do erro experimental. Reduzem-se dessa forma os trabalhos de laboratório.

d) Com este método obtém-se uma desagregação praticamente completa dos agregados de 7-4 mm, desde que se prolongue suficientemente o tempo de agitação da amostra.

## TECHNIQUE FOR STUDIES OF STABILITY OF SOIL AGGREGATES

### SUMMARY

This paper presents a technique for studies of stability of soil aggregates. The major soils of the State of São Paulo in different conditions of use have been examined

Triplicate samples of 25 g of soil aggregates of 7-4 mm size for each soil were shaken in a Model Wagner shaker at 40 rpm during 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 and 128 minutes period and were later fractioned by the wet sieving method.

In general soil aggregates greater than 2 mm decreased gradually in weight with increasing period of treatment: at the same time the small size particles (< 0.2 mm) increased in weight. The intermediate aggregates behaved differently in different soils.

Statistical analysis of the classes of aggregates > 2 mm and < 0.2 mm gave the general information needed. In general the experimental error were homogeneous and of small magnitude in relation to the systematic differences existent.

The functional relationship between the two variables (time and weight of size particles) was calculated by orthogonal polynomials considering the log time scale. In general polynomials of second degree were sufficient for a good approach, but in some cases polynomials of third degree were necessary.

The authors believe that for fertility studies the interval 1-32 minutes is sufficient to separate the differences in aggregability. In that interval for the soils considered a first degree polynomial is satisfactory.

Intervals of confidence had been calculated for the polynomial  $Y = A + B'E_1$ . The values  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B'_1$ ,  $B'_2$  were respectively the inferior and superior limits of the respective interval. Separations due to different use of soils were obtained through such statistics.

As the variability between triplicates had been small and the data obtained very consistent, the authors believe that for future studies duplicate determinations would furnish the estimate of error with sufficient precision.

### LITERATURA CITADA

1. FISHER, R. A. & YATES, F. Statistical tables for biological, agricultural and medical research. New York, Hafner Publishing Company Inc., 1953. p. 80-90.
2. GISH, R. E. & BROWNING, G. M. Factors affecting the stability of soil aggregates. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 13:51-55. 1948.
3. GOULDEN, C. H. Methods of statistical analysis. New York, John Wiley & Sons Inc., 1952. p. 174-191.
4. GROHMANN, F. Análise de agregados do solo. *Bragantia* 19:[201]-213. 1960.
5. PAIVA, J. E. (neto), CATANI, R. A., KÜPPER, A. [e outros]. Observações gerais sobre os grandes tipos de solos do Estado de São Paulo. *Bragantia* 11:[227]-233. 1951.
6. RUSSELL, M. B. & FENG, C. L. Characterization of the stability of soil aggregates. Soil Sci. 63:299-304. 1947.