

## FORMAS DE FÓSFORO EM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO ÁLICO. I - P-SOLÚVEL E P-AI

Nelson de ARAÚJO\*  
Manoel Evaristo FERREIRA\*\*  
Gener Tadeu PEREIRA\*\*\*  
Walter Veriano VALÉRIO FILHO\*

**RESUMO:** Em um experimento em blocos casualizados com 4 repetições, constituído de 5 doses de P (0-63, 80-127, 60-191, 40-255, 20 Kg/ha) calculados de acordo com o valor de "X" de Waugh e Fitts, estudou-se a evolução do P-solúvel (fósforo solúvel em água e formas fracamente ligadas ao solo) e do P-AI, em amostras de solo sob vegetação de cerrado, coletadas em 4 épocas a intervalos de 4 meses uma em relação à outra. As formas de fósforo P-solúvel e P-AI foram obtidas utilizando-se respectivamente como extratores  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1 N e  $\text{NH}_4\text{F}$  0,5 N com pH 8,5, sendo que a quantificação do P nos extratos foi feita empregando-se o método espectrofotométrico do azul de molibdênio. Os resultados indicaram apenas quantidades traços para P-solúvel em todas as amostras analisadas, enquanto para P-AI ficou evidenciada a sua correlação com a adubação fosfatada e tendência de crescimento com o passar do tempo.

**UNITERMOS:** Latossolo vermelho-escuro álico; adubação fosfatada; formas de fósforo; P-solúvel; P-AI.

\*Departamento de Ciências - Faculdade de Engenharia - UNESP - 13378 - Ilha Solteira - SP.

\*\*Departamento de Solos e Adubos - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP - 14870 - Jaboticabal - SP.

\*\*\*Departamento de Ciências Exatas - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP - 14870 - Jaboticabal - SP.

## INTRODUÇÃO

Os solos sob vegetação de cerrado, conforme citado por FREITAS & SILVEIRA<sup>1</sup>, são ácidos e extremamente pobres em fósforo e muitos deles apresentam elevados teores de sesquióxidos de ferro e alumínio, combinando portanto pobreza com alta capacidade de retenção de fósforo. Em consequência, a adubação fosfatada é uma prática necessária para obtenção e sustentação de bons rendimentos das culturas.

Em função do fosfato adicionado nesses solos ácidos, tem-se inicialmente um acréscimo de P ligado ao cálcio e depois, havendo a retenção de fósforo, desenvolvem-se reações com componentes do solo, onde são formados compostos como a estrengita,  $\text{Fe}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$  e a variscita,  $\text{Al}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$  ou produtos de composição intermediária entre os mesmos. Uma fração variável de fósforo adicionado se transforma em orgânico, constituindo-se de compostos como fosfolipídios, fitina, ácidos nucléicos e nucleoproteínas.

A proporção das diversas formas de fósforo e o pH do sistema irão influenciar a atividade ou concentração de íons fosfato na solução do solo e, portanto, a disponibilidade aos vegetais (Moreno e Lindsay, 1960, citados por CATANI & BATAGLIA<sup>2</sup>).

Podem-se então deduzir que o conhecimento das diversas formas de fósforo presentes num solo reveste-se de importância, podendo dar subsídios para uma interpretação adequada da análise química do solo, empregada como meio de avaliação da capacidade supridora do elemento às culturas.

Por outro lado, na quantificação de fósforo, não só em extratos de solos mas também em outros com baixa concentração do elemento, geralmente se emprega o método do azul de molibdênio, onde normalmente se usa o molibdato de amônio como complexante do íon fosfato e o cloreto estânico ou ácido ascórbico como redutor.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental da UNESP - Campus de Ilha Solteira, situada no município de Selvíria-MS, durante dois anos agrícolas consecutivos (1978/79 e 1979/80), cujo solo foi recém desbravado da vegetação típica de cerrados.

No 1º ano agrícola foram realizados o desmatamento, duas arações, três gradeações e limpeza de raízes.

No 2º ano agrícola, antes do plantio, utilizando as mesmas parcelas do ano agrícola anterior, realizou-se a incorporação dos restos vegetais com uma grade pesada e posteriormente foram realizadas uma aração e duas gradeações.

O solo escolhido para a investigação foi o mesmo utilizado por ARAÚJO<sup>3</sup>, classificado por DEMATTE<sup>4</sup> como sendo um latossolo vermelho-escuro álico textura argilosa.

Na área destinada ao experimento foi feita uma amostragem da terra composta (constituída de 25 amostras simples), que após conveniente preparação, foi submetida a uma análise química quanto à sua fertilidade, seguindo o procedimento analítico descrito em RAJI & ZULLO<sup>5</sup>, sendo efetuadas as seguintes determinações: pH em água na relação 1:2,5; K-trocável: extração com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05 N e determinação por fotometria de chama; P-solúvel: extração com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,05 N, relação solo: solução 1:10 e agitação durante 5 minutos;  $\text{Al}^{3+}$ -trocável: extração com KCl 1,0 N e titulação com NaOH 0,025 N;  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ -trocáveis: extração com KCl 1,0 N e titulação com EDTA 0,025 N. O carbono foi determinado com bicromato de potássio 0,4 N em meio sulfúrico e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,1 N, conforme descrito em VETTORI<sup>6</sup>.

Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 - Resultados de análise do solo selecionado para o experimento (profundidade 0-20 cm). Características químicas

pH ( $\text{H}_2\text{O}$ )	C %	e.mg/100 ml de TFSA		$\mu\text{g/ml}$ de TFSA		
		$\text{Al}^{3+}$	( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ )	K	P	
5,0	1,45	1,0	0,8	28	1	

e.mg = equivalente miligrama ou miliequivalente.  
TFSA = terra fina seca ao ar.

De acordo com as características químicas (Tabela 1) foi encontrado 1,0 e.mg de  $\text{Al}^{3+}$ -trocável/100 ml de TFSA. Com base neste resultado optou-se em fazer uma calagem de forma a se neutralizar esse elemento.

A quantidade foi calculada pela equação:

$$\text{Calcário (t/ha)} = \text{Al}^{3+}\text{-trocável} \times 2,0$$

Foi utilizado um calcário dolomítico com 26,57% de CaO e 16,88% de MgO, que passava 98,71% na peneira de nº 10 e 48,50% na de nº 50 (PRNT calculada igual a 61,3%). A adição e a incorporação foram feitas no dia 06.09.78.

Na área selecionada para o experimento, a soja (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivar UFV-1 foi semeada em 28 de novembro de 1978 e 27 de novembro de 1979, originando a produção de grãos em abril de 1979 e 1980, respectivamente.

Utilizou-se um delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições, constituído de 5 doses de P, calculadas de acordo com o valor de "X", segundo WAUGH & FITTS<sup>7</sup> e FERREIRA<sup>8</sup>. O adubo fosfatado (Tabela 2) e a adubação complementar conforme recomendação técnica para cultura de soja foram aplicados a lanço em 31.10.78 em parcelas de 10 x 20 m.

TABELA 2 -- Doses de fósforo aplicadas no 1º ano agrícola

Tratamentos	P Kg/ha	Superfosfato triplo Kg/ha	P <sup>(1)</sup> µg/ml
D1	63,80	310	32
D2	127,60	620	64
D3	191,40	930	96
D4	255,20	1240	128

(1) Considerando 1 ha = 2 x 10<sup>9</sup> ml.

No 2º ano agrícola não mais foi adicionado o adubo fosfatado, contando-se apenas com o efeito residual do ano agrícola anterior.

Para a determinação do P-inorgânico (P-solúvel e P-Al) no solo, procedeu-se à amostragem, parcela por parcela, de quatro em quatro meses, aos 28.04.79, 28.08.79, 28.12.79 e 28.04.80, respectivamente 150, 270, 390 e 510 dias após o plantio.

A determinação dos teores de P em cada amostra foi feita de acordo com a metodologia de GHANG & JACKSON<sup>9</sup>, parcialmente modificada por CATANI & BATAGLIA<sup>2</sup>, com adequações introduzidas por ARAÚJO<sup>10</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Fósforo solúvel em solução normal de NH<sub>4</sub>Cl (P-solúvel)

O fósforo extraído com NH<sub>4</sub>Cl 1 N apresentou valores não quantificáveis (quantidades traços) em todos os tratamentos independente da dose de P adicionada e da época de amostragem. Tal fato já era esperado, visto que o NH<sub>4</sub>Cl, de acordo com autores como CHANG & JACKSON<sup>9</sup> e CATANI & BATAGLIA<sup>2</sup>, extrai apenas o P solúvel em água e formas fracamente ligadas ao solo, segundo THOMAS & PEASLEE<sup>11</sup>, principalmente hidrogenofosfato de cálcio (CaHPO<sub>4</sub>), cujas concentrações em solos ácidos são insignificantes. Resultados semelhantes, indicando baixos teores dessa forma de P, foram encontrados também por BAHIA *et alii*<sup>12</sup>, DELAZARI *et alii*<sup>13</sup>, entre outros.

### Fósforo solúvel em solução de NH<sub>4</sub>F 0,5 N, com pH 8,5 (P-Al)

O uso do extrator NH<sub>4</sub>F 0,5 N, conforme CHANG & JACKSON<sup>9</sup>, deve-se à sua capacidade de extrair preferencialmente o fósforo ligado ao alumínio. Essa grande capacidade foi confirmada e aperfeiçoada por outros pesquisadores<sup>14,15</sup> que verificaram ser este extrator mais eficaz em valores de pH próximos a 8,5.

Os dados de P-Al contidos na Tabela 3 evidenciam que essa forma de P sofreu um incremento, que correlaciona-se com a adubação fosfatada, sendo que as maiores doses de P adicionadas proporcionam maiores teores da grandeza em apreço. Ao considerar o

TABELA 3 -- Teores de fósforo em um solo sob vegetação de cerrado, nos diferentes tratamentos, aos 150, 270, 390 e 510 dias após o plantio da soja

Tratamento*	Bloco	P-Al (ppm de P)			
		150 dias	270 dias	390 dias	510 dias
D0	1	1,12	1,12	1,12	1,99
D1	1	5,44	6,31	14,95	8,47
D2	1	11,49	12,79	20,13	10,63
D3	1	20,39	30,07	25,58	34,22
D4	1	40,70	38,54	34,22	57,99
D0	2	—	1,99	1,12	—
D1	2	6,31	2,85	10,63	4,15
D2	2	15,81	6,31	22,55	5,44
D3	2	21,43	34,22	34,22	30,77
D4	2	36,38	42,86	32,06	67,92
D0	3	—	1,12	1,99	1,12
D1	3	8,47	4,15	12,79	6,31
D2	3	10,63	9,59	25,58	10,63
D3	3	23,59	28,17	34,22	34,22
D4	3	32,06	45,02	37,67	68,79
D0	4	1,12	4,15	2,85	1,99
D1	4	7,17	5,44	8,47	4,15
D2	4	12,79	11,75	19,27	8,47
D3	4	24,46	26,87	32,06	32,06
D4	4	38,54	44,15	42,86	51,51

\* Refere-se, respectivamente, à incorporação de 310, 620, 930 e 1240 Kg de superfosfato triplo/ha. — Traços.

efeito de épocas de amostragens sobre o teor de P-Al, observa-se valores médios correspondentes a 15,90 - 17,87 - 20,72 e 22,04 ppm, respectivamente, para as épocas 150, 270, 390 e 510 dias e, uma d.m.s. (teste de Tukey a 5%) igual a 2,85. Embora, estatisticamente, as médias não difiram todas entre si, há uma tendência de aumento nesta forma de P com o passar do tempo.

Como o solo em estudo apresenta altos teores em alumina, (20,77% de  $Al_2O_3$ ), pode ocasionar reações com outros cátions, ocorrendo o deslocamento do  $Al^{3+}$ . Esse cátion sofre hidrólise formando a gibsita ( $Al(OH)_3$ ) e íons hidrogênio, fazendo com que o solo adquira características ácidas. Nestas condições de acidez, o alumínio poderá proceder tanto da alumina como de gibsita e, devido à sua afinidade pelos fosfatos presentes no solo, favorece a formação do P-Al, o qual possui baixa solubilidade e consequentemente alta estabilidade. Conforme se pode depreender do citado por FASSBENDER *et alii*<sup>16</sup>, LARSEN<sup>17</sup>, CHANG & JACKSON<sup>18</sup>, a baixa solubilidade e em consequência a alta estabilidade citadas são responsáveis pela incidência dessa forma de P. Deve-se também considerar compostos ou complexos de superfície em que o ânion fosfato se liga ao Al presente na estrutura cristalina de minerais como argilas e sesquióxidos de alumínio, através de adsorção.

Ainda, o aumento do teor de P-Al, com o passar do tempo, possivelmente se processe à custa de conversão de formas mais solúveis, como as de fosfatos de cálcio, para esta forma, conforme citado por alguns pesquisadores, como CHANG & CHU<sup>19</sup>, YUAN *et alii*<sup>20</sup>, entre outros, quando também trabalharam com solos ácidos.

Na análise de variância preliminar foi detectada interação significativa tendo, por esta razão, sido feito desdobramento da interação época x doses, considerando-se apenas época dentro de cada dose, uma vez que não há interesse prático em se considerar a outra componente. Verifica-se na Tabela 4 que houve efeito significativo de época dentro de todas as doses, exceção feita à dose D<sub>0</sub>. Fez-se também o estudo da regressão polinomial da variação da forma de P-Al em função da época dentro de cada dose, com o intuito de se verificar o comportamento dessa forma com o passar do tempo e, ainda, determinar a equação de regressão que melhor explica a sua variação (Tabela 5 e Figura 1). Não se encontrou nenhum grau de regressão comum a todas as doses de P aplicadas que descrevesse o comportamento do P-Al em função do tempo. Isso, possivelmente, possa ser creditado não só aos problemas de heterogeneidade do solo (conforme discutido por FERREIRA<sup>21</sup>) mas também às dificuldades de se obter uma mistura uniforme do adubo fosfatado, quando de sua adição ao solo e, ainda, ao fato de se ter feito, como necessário era, amostragens de terra em épocas diferentes.

TABELA 4 — Análise de variância (teste F) realizada com dados de fósforo ligado ao alumínio em função de doses de P adicionadas, épocas de amostragem e desdobramento da interação época dentro da dose

Causas da variação	GL	F	
		F	P-Al
Blocos	3	0,85 ns	
Tratamentos (P)	4	1006,38**	
Resíduo (A)	12	—	
Parcelas	19	—	
Tratamentos (S)	3	13,55**	
Interação P x S	12	14,59**	
Resíduo (B)	45	—	
Época d. D <sub>0</sub>	3	0,16 ns	
Época d. D <sub>1</sub>	3	3,39**	
Época d. D <sub>2</sub>	3	12,29**	
Época d. D <sub>3</sub>	3	7,55*	
Época d. D <sub>4</sub>	4	48,51**	
Resíduo (B)	45	—	
Total	79	—	

\* Significativo a 5%; \*\* significativo a 1%; ns = não significativo.

TABELA 5 — Valores de Teste F para análise de regressão polinomial de 1º a 3º grau, para o fósforo ligado ao alumínio em função de cada dose de P adicionada e épocas de amostragens

Causas da variação	GL	F	
		F	P-Al
Regressão de Grau 1	1	D <sub>0</sub>	1,19 ns
		D <sub>1</sub>	0,97 ns
		D <sub>2</sub>	0,0003 ns
		D <sub>3</sub>	23,15**
		D <sub>4</sub>	26,00**
Regressão de Grau 2	1	D <sub>0</sub>	7,40*
		D <sub>1</sub>	4,81 ns
		D <sub>2</sub>	13,08**
		D <sub>3</sub>	4,01 ns
		D <sub>4</sub>	10,30*
Regressão de Grau 3	1	D <sub>0</sub>	1,03 ns
		D <sub>1</sub>	33,05**
		D <sub>2</sub>	36,34**
		D <sub>3</sub>	0,61 ns
		D <sub>4</sub>	10,15*

\* Significativo a 5%; \*\* significativo a 1%; ns = não significativo.

## CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos e levando-se em consideração as condições nas quais o experimento foi realizado, o trabalho desenvolvido permite concluir que:

O P-solúvel em  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1 N apresentou quantidades traços em todas as amostras analisadas, independente do nível de adubação fosfatada e da época de amostragem.

O P-Al extraído por  $\text{NH}_4\text{F}$  0,5 N, pH = 8,5 teve um aumento praticamente proporcional à adubação fosfatada e apresentou tendência de crescimento com o passar do tempo.

## AGRADECIMENTOS

Nosso agradecimento muito especial ao Padre De. Leopoldo Hainberger, S. J. (in memoriam), pelo estímulo e eficiente orientação, sempre com muita compreensão e amizade, sem os quais este trabalho não teria sido realizado.

Que Deus o abençoe.

ARAÚJO, N. de et alii — Forms of phosphorus in dark-red alic latossol. 1 — P-soluble and P-Al. *Ecl. Quím.*, São Paulo, 15: 23 — 32, 1990.

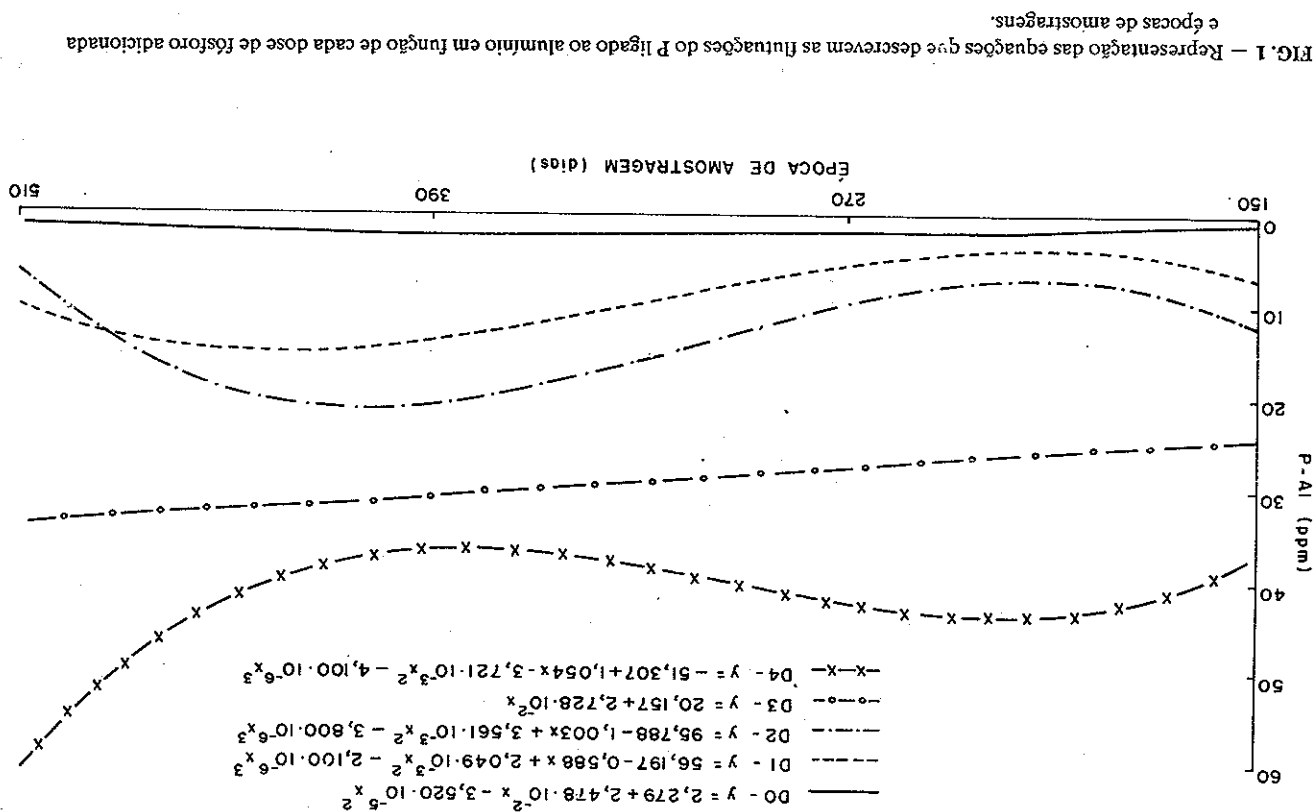
**ABSTRACT:** In an experiment in casual blocks with four repetitions, comprising 5 doses of P (0-63, 80-127, 60-191, 40-255.20 Kg/ha), calculated according to "X" value recommended by Waugh and Fitts, the quantitation of P-soluble (phosphorus soluble in water and forms of phosphorus weakly linked to soil) and P-Al was performed in samples of soil under "cerrado" vegetation, picked up at four dates; a sequential interval of four months from a sample to the next one was adopted. The P-soluble and P-Al forms were obtained by using  $\text{NH}_4\text{Cl}$  1 N and  $\text{NH}_4\text{F}$  0.5 N at pH 8.5 as extractors, respectively. The quantitation of P in the extracts was performed by applying the spectrophotometric method of molybdenum blue. The results indicated only trace amounts for P-soluble in all analyzed samples, while for P-Al both correlation with phosphatic fertilization and a growing trend as a function of time were observed.

**KEY-WORDS:** Dark-red alic latossol; phosphatic fertilization; forms of phosphorus; P-soluble; P-Al.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FREITAS, F.C. & SILVEIRA, C.O. — Principais solos sob vegetação de cerrado, IV Simpósio sobre o Cerrado, Ed. Itatiaia, 1977, p.155.
2. CATANI, R.A. & BATAGLIA, O.C. — *An. ESALQ*, 25, 99 (1968).

*Ecl. Quím*, São Paulo, 15: 23 — 32, 1990.



3. ARAÚJO, N. de — *Ecl. Quím.*, 14, 95 (1989).
4. DEMATTÊ, J.L.I. — *Levantamento detalhado dos solos do Campus Experimental de Ilha Solteira*, ESALQ, Piracicaba, (mimeografado), 1980.
5. RAUJ, B. Van & ZULLO, M.A.T. — *Métodos de análise de solo*, Instituto Agronômico de Campinas, Circular 63, 1977.
6. VETTORI, L. — *Métodos de análise de solo*, Rio de Janeiro, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, Boletim Técnico nº 7, 1968.
7. WAUGH, D.L. & FITTS, J.W. — *Estudos para interpretação de análises de solo: de laboratório e em vasos*, International Soil Testing, Boletim Técnico 3, 1966.
8. FERREIRA, M.E. — *Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal*, 1973.
9. CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. — *Soil Sci.*, 84, 133 (1957).
10. ARAÚJO, N. de — *Tese de Doutorado, PUC/RJ*, Rio de Janeiro, 1984.
11. THOMAS, G.W. & PEASLEE, D.E. — In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D., *Soil Testing and Plant Analysis*, Soil Sci. Soc. of America, Madison, 1973, p.115.
12. BAHIA Fº, A.F.C.; VASCONCELOS, C.A.; SANTOS, H.L.; MENDES, J.F.; PITTA, G.U.E. & OLIVEIRA, A.C. — *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 6, 99 (1982).
13. DELAZARI, P.C.; BRAGA, J.M.; NOVAIS, R.F. & THIEBAUT, J.T.L. — *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 4, 149 (1980).
14. TURNER, R.C. & RICE, H.M. — *Soil Sci.*, 74, 141 (1952).
15. FIFE, C.V. — *Soil Sci.*, 87, 12 (1959).
16. FASSBENDER, H.W.; MULLER, L. & BALDERDI, F. — *Turrialba*, 18, 333 (1968).
17. LARSEN, S. — *Adv. Agron.*, 19, 151 (1967).
18. CHANG, S.C. & JACKSON, M.L. — *J. Soil Sci.*, 9, 109 (1958).
19. CHANG, S.C. & CHU, W.K. — *J. Soil Sci.*, 12, 287 (1961).
20. YUAN, T.L.; ROBERTSON, W.K. & NELLER, J.R. — *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 24, 447 (1960).
21. FERREIRA, M.E. — *Tese de Livre Docência, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal*, 1979.

Recebido em 15.05.90  
 Aceito em 10.07.90