

ESTUDOS SOBRE A CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO CAUSADA PELO  $Al^{+3}$  TROCÁVEL. I. EFEITOS SOBRE O pH,  $Al^{+3}$  E  $H^{+}$  TROCÁVEIS EM SOLOS DAS SÉRIES SERTÃOZINHO E MONTE OLIMPO E DAS UNIDADES 2 E 18 \*

GERALDO MORENO SERVIN \*\*  
FRANCISCO DE A. F. DE MELLO \*\*\*  
ROBERTO S. MORAES \*\*\*\*

### RESUMO

É descrito um ensaio de incubação com a finalidade de estudar os efeitos da adição de  $CaCO_3$  sobre o pH e  $Al^{3+}$  e  $H^{+}$  trocáveis de 4 terras, servindo-se do método do  $Al^{3+}$  trocável para a determinação das doses de  $CaCO_3$ .

De um modo geral, se encontrou uma forte elevação nos índices pH das terras e redução nos teores de  $Al^{3+}$  e de  $H^{+}$  trocáveis das mesmas, à medida em que se aumentavam as quantidades de  $CaCO_3$  empregadas.

A dose 1 de  $CaCO_3$ , que correspondia à quantidade de cálcio estequiometricamente igual à de  $Al^{3+}$  trocável presente em cada terra, foi suficiente para elevar o pH de todas elas ao redor de 5,7. O teor de  $Al^{3+}$  trocável, contudo, em uma delas permaneceu acima do nível considerado não tóxico às plantas.

### INTRODUÇÃO

É reconhecido que a acidez do solo constitui um dos problemas mais importantes para a agricultura de vastas regiões tropicais e subtropicais.

No Brasil, áreas enormes, e muitas delas de importância agrícola das mais elevadas, são ocupadas por terrenos ácidos. Os exemplos seguintes são esclarecedores e significativos:

a). De acordo com RANZANI et al (1966, pág. 21), as áreas que necessitam de calagem em Piracicaba, Estado de São Paulo, se distribuem conforme indicado abaixo:

\* Entregue para publicação em 12/1/73.

\*\* Aluno do Curso Pós-Graduado de Solos e Nutrição de Plantas em 1970-1971.

\*\*\* Departamento de Solos e Geologia.

\*\*\*\* Departamento de Matemática e Estatística.

| <b>Necessidade de calagem</b> | <b>Área em porcentagem da superfície do município</b> | <b>Área total em ha</b> |
|-------------------------------|---|-------------------------|
| baixa                         | 27,7  | 39.224                  |
| moderada                      | 27,9  | 39.506                  |
| elevada                       | 41,9  | 59.330                  |

b). Segundo Setzer, citado por GUIMARÃES (1958), em 51% do território do Estado de São Paulo a calagem é imprescindível para a obtenção de colheitas compensadoras; em 30% é essencial; em 19% é útil.

c). Conforme dados fornecidos por COELHO e VERLENGIA (sem data, pág. 139), relativos a um levantamento de fertilidade dos solos do Estado de São Paulo efetuado por técnicos do Instituto Agrônomo (Campinas) pode-se calcular que 41,5% da área cultivada desse estado apresentam teores nocivos de  $Al^{+3}$  trocável, isto é, acima de 0,5 e.mg/100g de terra.

d). GARGANTINI et al (1970) concluíram que aproximadamente 50% da área cultivada do Estado de São Paulo apresentam problemas de acidez elevada, sendo aconselhável o emprego de corretivos. Tal emprego, porém, atinge caráter obrigatório, para que se possam obter colheitas elevadas, em 20% da área sob cultivo do mesmo Estado, devido aos teores inconvenientes de alumínio trocável..

e). O trabalho da COMISSÃO DE SOLOS (1960), mostra como é frequente a ocorrência de solos, ácidos, com teores muitas vezes elevados de  $Al^{3+}$  trocável, no Estado de São Paulo. O mesmo pode ser constatado na publicação recente de VIEIRA et al (1971), relativamente ao Estado do Pará.

f). Somente os solos ácidos de cerrado ocupam, no Brasil, uma área de 1,6 milhões de  $km^2$  (1/5 da superfície total do país), ou mais, segundo alguns autores.

A necessidade de calagem em áreas agrícolas deste país é, pois, um fato reconhecido e que não necessita discussão. Mas, entre os problemas ainda pendentes de solução, encontra-se o que diz respeito aos métodos de determinação das quantidades de calcário a serem aplicadas.

Recentemente, não só no Estado de São Paulo, mas também em vários outros estados brasileiros e em diversos países tem-se avolumado a tendência de se recomendar a quantidade de corretivo a ser distribuída numa determinada gleba tomando-se por base o teor de  $Al^{3+}$  trocável do terreno, segundo o conceito de que o importante é a neutralização da acidez causada por esse elemento e o fornecimento de cálcio e magnésio às plantas (KAMPRATH, 1967; KAMPRATH, 1970; SOUZA, 1970).

No Brasil, contudo, não existe experimentação adequada a esse respeito e, no Rio Grande do Sul, em várias situações, tem-se verificado que as quantidades de calcário recomendadas de acordo com o método referido são muito pequenas.

Por esse motivo decidiu-se executar um plano amplo de trabalho para estudar a eficiência do método de recomendação de calagem fundamentado no teor de alumínio trocável do solo, sendo este trabalho o primeiro passo.

## REVISÃO DA LITERATURA

Conforme foi esclarecido em 1 não existe, no Brasil, um volume satisfatório de experimentos a respeito do método de se estimar a quantidade de calcário requerida por um solo ácido com base no seu teor de  $Al^{3+}$  trocável. Poucos trabalhos foram publicados a esse respeito, incluindo os que são citados a seguir.

MUZILLI et al (1969a), utilizando o método de incubação de amostras de terra com quantidades crescentes do  $CaCO_3$  concluíram que, em relação aos 5 latossóis roxos estudados, do oeste do Estado do Paraná, as quantidades de carbonato de cálcio, em toneladas,  $Q = 1,5 \times n.^{\circ}$  de e.mg do  $Al^{3+}$  trocável/100g de terra eram suficientes para reduzir os teores deste cátion na forma trocável a valores menores que 0,5 e.mg/100 de terra mesmo quando o teor original era igual a 2,3. Considera-se que os teores de  $Al^{3+}$  trocável até 0,5 e.mg/100g de terra não são prejudiciais ao desenvolvimento das plantas.

O ensaio acima referido teve continuidade através de outro trabalho, este realizado em vasos e casa de vegetação, utilizando-se a cevada (*Hordeum vulgare* L.) como planta teste (MUZILLI et al, 1969b) e as mesmas terras. Concluiu-se ser o  $Al^{3+}$  trocável um fator limitante da produção naquelas terras e que a aplicação de calcário em doses necessárias para reduzir o teor de alumínio permutável a níveis inferiores a 0,5 e.mg/100g de terra é suficiente para permitir o desenvolvimento satisfatório das plantas.

O estudo conduzido nos mesmos solos, em condições de campo (MUZILLI et al, 1969c), revelou que, aos 60 dias após a aplicação, a quantidade de calcário dolomítico empregada (com 29,23% de CaO e 21,36% de MgO),  $Q = 1,5 \times n.^{\circ}$  de e.mg  $Al^{3+}$  trocável/100g de terra, era suficiente para reduzir em todos os casos de  $Al^{3+}$  trocável a 0,5 ou menos e.mg/100g de terra correspondendo a valores pH 5,4. A redução do teor de  $Al^{3+}$  trocável, bem como a elevação do pH se tornavam mais visíveis à medida que se aumentavam as doses de calcário e o período de amostragem, que se prolongou até 120 dias após a incorporação do corretivo.

CATANI & ALONSO (1969a) estudaram a exigência em calcário de 20 amostras de solos empregando a técnica de incubação com quantidades crescentes de  $CaCO_3$ . Os resultados obtidos serviram para testar os seguintes métodos:

a). Elevação do pH do solo a 6,5, mediante a extração de hidrogênio ou protons, dos diversos componentes de acidez, com solução neutra e normal de acetato de cálcio e posterior titulação com solução 0,02 N de NaOH; obteve-se um coeficiente de correlação  $r = 0,92^{***}$ .

b). Elevar o pH do solo a 6,5, mediante a extração de hidrogênio ou protons dos diversos componentes da acidez, com solução tampão SMP, com

pH original 7,5 e determinação posterior do pH da suspensão do solo; obteve-se um coeficiente de correlação  $r = 0,90^{***}$ .

c). Elevação do pH do solo a 6,5, mediante a elevação da porcentagem de saturação em bases a 85%; obteve-se um coeficiente de correlação  $r = 0,96^{***}$ .

d). Elevação do pH do solo a 5,7, por meio da extração do  $Al^{+3}$  trocável com solução IN de KCl; o coeficiente de correlação obtido foi o mais baixo de todos,  $r = 0,72$ , embora significativo a 1 por mil.

Atualmente, alguns pesquisadores (KAMPRATH, 1967; SANTANA et al, 1970) tem dado mais ênfase à porcentagem de saturação do complexo coloidal do solo em  $Al^{+3}$  trocável que ao próprio teor do mesmo, ou à combinação teor  $Al^{+3}$  trocável e soma dos teores de  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  trocáveis (SOUZA, 1970; FONSECA et al, sem data).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Terras utilizadas

Foram utilizadas quatro terras, sendo duas do Município de Piracicaba (Séries Sertãozinho e Monte Olimpo, segundo RANZANI et al, 1966) e duas do Município de Rio das Pedras (Unidade 2 e Unidade 18, de acordo com MEDEIROS, 1971 e ESCOBAR, 1969, respectivamente), que foram classificadas do seguinte modo pelos autores acima mencionados:

| Nº da amostra | Ordem             | Grande Grupo                          | Série ou Unidade | Classe textural |
|---------------|-------------------|---------------------------------------|------------------|-----------------|
| 1             | Entisol           | Hopludent                             | Série            | Barro           |
|               | Azonal            | Regosol                               | Sertãozinho      | Arenoso         |
| 2             | Entisol           | Haplaquent                            | Série            | Argila          |
|               |                   |                                       | M. Olimpo        |                 |
| 3             | Azonal            | Alúvio                                |                  |                 |
|               | Molissol<br>Zonal | Argiudol<br>Terra Roxa<br>Estruturada | Unidade 2        | Argila          |
| 4             | Oxisol            | Entrorthox                            | Unidade 18       | Argila          |
|               | Zonal             | Latossol Roxo                         |                  |                 |

As principais características físicas e químicas dessas terras se encontram nos Quadros 1 e 2.

Quadro 1 — Características físicas das terras utilizadas

| Nº da amostra | Argila % | Limo % | Areia % |
|---------------|----------|--------|---------|
| 1             | 16,36    | 6,57   | 77,07   |
| 2             | 42,62    | 14,33  | 43,05   |
| 3             | 38,78    | 24,72  | 36,50   |
| 4             | 54,75    | 21,95  | 23,30   |

Quadro 2 — Características químicas das terras utilizadas.

| Nº da amostra | pH  | C%   | N%   | e. mg trocável / 100g de terra |                |                  |                  |                               |                |
|---------------|-----|------|------|--------------------------------|----------------|------------------|------------------|-------------------------------|----------------|
|               |     |      |      | Al <sup>+3</sup>               | H <sup>+</sup> | Ca <sup>+2</sup> | Mg <sup>+2</sup> | PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> | K <sup>+</sup> |
| 1             | 6,0 | 0,51 | 0,08 | 0,34                           | 2,77           | 1,28             | 0,56             | 0,17                          | 0,13           |
| 2             | 4,7 | 0,36 | 0,07 | 2,82                           | 5,79           | 0,56             | 0,32             | 0,06                          | 0,07           |
| 3             | 5,4 | 0,84 | 0,11 | 1,14                           | 5,38           | 1,44             | 0,72             | 0,20                          | 0,12           |
| 4             | 4,8 | 1,35 | 0,15 | 2,68                           | 9,24           | 2,27             | 1,52             | 0,09                          | 0,11           |

### Descrição do ensaio

Porções de 1.000g de T.F.S.A. foram intimamente misturadas com carbonato de cálcio p.a. em doses crescentes de acordo com o teor de Al<sup>+3</sup> permutável das mesmas. Os tratamentos foram os seguintes:

| Tratamento | Quantidade de cálcio aplicada como $\text{CaCO}_3$   |
|------------|--|
| Testemunha | Sem adição de $\text{CaCO}_3$  |
| 1          | Estequiometricamente igual à quantidade de $\text{Al}^{+3}$ trocável em 1.000g de terra                          |
| 2          | Estequiometricamente igual a duas vezes a quantidade de $\text{Al}^{+3}$ trocável existente em 1.000g de terra   |
| 3          | Estequiometricamente igual a três vezes a quantidade de $\text{Al}^{+3}$ trocável existente em 1.000g de terra   |
| 4          | Estequiometricamente igual a quatro vezes a quantidade de $\text{Al}^{+3}$ trocável existente em 1.000g de terra |

Após a mistura, as terras foram passadas para vasos\* e incubados durante 45 dias conservando-se a umidade a 40-50% da capacidade de campo, mediante o emprego de água destilada e desmineralizada.

Foram feitas 5 repetições de cada tratamento, ficando os vasos sobre uma mesa de madeira distribuídos em blocos ao acaso.

Após o período de incubação o conteúdo de cada vaso foi distribuído sobre uma lâmina de material plástico e deixado secar ao ar, procedendo-se, então, às seguintes determinações:

- . pH — relação solo-água de 1 : 2,5 (CATANI et al, 1955).
- .  $\text{Al}^{3+}$  trocável — extração com solução de  $\text{KCl}$  1N e titulação com solução 0,02N em  $\text{NaOH}$ , segundo BRAUNER et al (1966).
- .  $\text{H}^+$  adsorvido ou trocável — extração com solução neutra e normal de acetato de cálcio (CATANI et al, 1955) e titulação com solução 0,02N em  $\text{NaOH}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Resultados relativos a variação do pH.

Os valores pH encontrados após o período de incubação das terras, médias das 5 repetições, estão apresentados no Quadro 3.

\* Latas de óleo de motor de automóveis, com fundos perfurados, pintadas externamente com tinta Alumilalac 9800, da Cia. Ipiranga, e, internamente, com Neutrol 45.

Quadro 3 — Valores pH das terras médias de 5 repetições.

| Tratamento | Série ou Unidade do Solo |           |           |            |
|------------|--------------------------|-----------|-----------|------------|
|            | Sertãozinho              | M. Olimpo | Unidade 2 | Unidade 18 |
| Testemunha | 5,7                      | 4,7       | 4,9       | 5,4        |
| 1          | 5,9                      | 5,5       | 5,6       | 6,2        |
| 2          | 6,2                      | 7,1       | 6,2       | 6,8        |
| 3          | 6,4                      | 7,8       | 6,6       | 7,4        |
| 4          | 6,6                      | 7,9       | 7,1       | 7,6        |

Uma observação é a de que o solo Sertãozinho, o mais arenoso, foi o que apresentou a variação de pH menos intensa devido às adições de  $\text{CaCO}_3$ , o que, talvez se explique pelas quantidades mais baixas de carbonato a ele adicionados, apesar do poder tampão desse solo ser, possivelmente, o menor entre os dos quatro solos estudados.

Observa-se pelos dados do Quadro 3, que a adição das quantidades de  $\text{CaCO}_3$  necessárias para neutralizar o  $\text{Al}^{3+}$  trocável das terras elevou o pH das mesmas a valores próximos do esperado, isto é, cêrca de 5,7.

A análise de variância dos efeitos das regressões polinomiais pH x doses de  $\text{CaCO}_3$  revelou os seguintes valores de F para as regressões linear, quadrática, cúbica e de 4.º grau (Quadro 4).

Quadro 4 — Coeficiente de regressão pH x doses de  $\text{CaCO}_3$ 

F a 5% = 4,49

F a 1% = 8,53

| Terra       | Coeficiente de regressão |            |           |          |
|-------------|--------------------------|------------|-----------|----------|
|             | Linear                   | Quadrática | Cúbica    | 4º Grau  |
| Sertãozinho | 1.653,60                 | 7,79       | 0,79      | 5,03     |
| M. Olimpo   | 414,41                   | 2.400,83   | 866,83    | 40,60    |
| Unidade 2   | 16.328,76                | 33.022,74  | 10.072,20 | 1.380,93 |
| Unidade 18  | 26.640,78                | 61.622,22  | 19.419,35 | 3.024,86 |

Como se observa, a regressão linear foi significativa em todos os casos, indicando uma íntima relação entre as doses aplicadas de  $\text{CaCO}_3$  e os valores pH obtidos. As regressões de grau superior ao primeiro são também significativas, exceto em um caso (regressão cúbica, solo sertãozinho). Tais

significancias, entretanto, exprimem tendências dos resultados numéricos obtidos, já fora dos limites experimentais, pois dentro destes, a regressão é linear, indicando que os pHs se elevaram à medida em que foram aumentadas as quantidades de carbonato de cálcio (ver Quadro 3). Por outro lado, não seria mesmo razoável esperar-se obter experimentalmente decréscimos do pH das terras em decorrência da aplicação de  $\text{CaCO}_3$ .

Resultados relativos à variação dos teores de alumínio trocável.

As médias dos teores de  $\text{Al}^{3+}$  trocável encontrados nos diversos tratamentos, acham-se no Quadro 5.

Quadro 5 – Teores de  $\text{Al}^{3+}$  trocável das terras, médias de 5 repetições, em e.mg/100g de T.F.S.A.

| Tratamento | Série ou Unidade do Solo |           |           |            |
|------------|--------------------------|-----------|-----------|------------|
|            | Sertãozinho              | M. Olimpo | Unidade 2 | Unidade 18 |
| Testemunha | 0,26                     | 3,72      | 1,03      | 0,44       |
| 1          | 0,27                     | 1,26      | 0,38      | 0,29       |
| 2          | 0,33                     | 0,33      | 0,34      | 0,30       |
| 3          | 0,25                     | 0,22      | 0,32      | 0,28       |
| 4          | 0,26                     | 0,24      | 0,23      | 0,25       |

Os números do Quadro 5 informam que em nenhum dos tratamentos, em qualquer das terras incluídas no experimento, conseguiu-se eliminar o  $\text{Al}^{3+}$  trocável, mesmo adicionando-se quantidades de cálcio estequiometricamente iguais a quatro vezes a daquele ion na forma permutável e suficiente para elevar o pH a valores próximos ou superiores a 7,0 (ver Quadro 3). No caso da terra da Série Monte Olimpo, a quantidade de  $\text{CaCO}_3$  do tratamento 1 foi insuficiente para reduzir o teor de  $\text{Al}^{3+}$  trocável a um nível considerado não tóxico às plantas.

No final de um experimento de incubação de terra com  $\text{CaCO}_3$ , este empregado em doses crescentes, em 36 das 100 parcelas (sacos de plástico com as terras), CATANI & ALONSO (1969a) constataram a presença de  $\text{Al}^{3+}$  trocável. A seguinte equação de regressão entre o teor do referido ion trocável (y) e o pH das terras correspondentes (x) foi deduzida:

$$y = -2,49 x + 14,11$$

com coeficiente de correlação  $r = -0,70^{***}$ .

Fazendo na equação acima  $y = 0$ , os autores mencionados calcularam que em valor pH aproximadamente igual a 5,7 não deveria ser detectado  $\text{Al}^{3+}$  trocável. Observação semelhante pode ser feita utilizando-se os resul-



tados de MUZILLI et al (1969), também trabalhando com sacos de plástico como recipiente para as terras.

Embora se possa supor que a natureza dos receptores das amostras de terra empregadas nos 3 experimentos (sacos de plástico por: CATANI & ALONSO, 1969 e por MUZILLI et al, 1969; latas com fundos perfurados pelos autores deste trabalho) possa ter exercido alguma influência desconhecida pelos autores sobre o teor de  $Al^{3+}$  trocável das terras após a incubação, um argumento razoável para explicar a presença desse íon nas terras que alcançaram pHs acima de 6,0 (doses 2, 3 e 4 de  $CaCO_3$  nas terras Sertãozinho, M. Olimpo e Unidade 2 e 1, 2, 3 e 4 na Unidade 18) é o seguinte: a acidez encontrada nos extratos de KCl IN, nesses casos, pode ser devida à presença de protons de outras origens e não provenientes da presença de  $Al^{3+}$  trocável, uma vez que não se procedeu à análise específica desse elemento e ele não constitui a única fonte de acidez do solo (BRAUNER, 1966; BRAUNER & CATANI (1967) e CATANI & ALONSO, 1969b).

BRAUNER & CATANI (1967) reconheceram que o  $Al^{3+}$  trocável pode ser completamente eliminado do solo devendo-se, porém, empregar, para que isso aconteça, uma quantidade de  $CaCO_3$ , superior à exigida levando-se em conta apenas a quantidade presente daquele metal. Com base nesse conceito, possivelmente no presente trabalho não tenham sido utilizados quantidades suficientes de carbonato de cálcio, que deverão ser, pois, elevadas.

Deve-se acrescentar, ainda, que de acordo com BRAUNER (1966) e BRAUNER et al (1966) o teor de  $Al^{3+}$  trocável dos solos determinados pela titulação do extrato de KCl IN é geralmente superior ao determinado calorimetricamente pelo método do «Aluminon». Entretanto, parece estranho a presença de acidez titulável nos valores pH mais elevados e os autores do presente trabalho não possuem elementos convincentes para explicar o fenômeno observado.

Constata-se, também, pelos dados do Quadro 5, que as doses de carbonato de cálcio exerceram pequena influência sobre o teor de  $Al^{3+}$  trocável da terra Sertãozinho sendo esse efeito relativamente pequeno na terra da Unidade 18. Contudo, o efeito foi marcante nas terras da série M. Olimpo e Unidade 2, sobretudo na primeira.

Deve-se acrescentar, ainda, que no tratamento 4 todas as amostras apresentaram um teor médio de  $Al^{3+}$  trocável, ou de protons de outra procedência, aproximadamente igual a 0,25 e.mg/100g T.F.S.A.

Como se pode constatar pela discussão, o item «Resultados relativos à variação dos teores de alumínio trocável», poderia ser denominado, talvez com mais propriedade, «Resultados relativos à variação da acidez titulável extraída com solução normal de KCl». Contudo, permanece o título original por ser o  $Al^{3+}$  trocável determinado rotineiramente, para fins de recomendação de calagem, através da titulação do extrato de KCl N.

A análise estatística dos teores de  $Al^{3+}$  trocável x doses de  $CaCO_3$  empregadas apresentou os valores de F contidos no Quadro 6 para as regressões linear, quadrática, cúbica e de 4.º grau:

Nota-se que, no tocante ao solo da série Sertãozinho, as regressões linear e cúbica não foram significativas, enquanto que a quadrática e a de 4.º grau o foram estando esta, contudo, além dos limites do experimento. Os autores não possuem nenhum argumento para explicar a significância da regressão quadrática. Talvez a explicação mais plausível seja admitir algum engano de natureza experimental .

Quadro 6 – Coeficiente de regressão  $Al^{3+}$  trocável x doses de  $CaCO_3$   
 F a 5% =4,49 F a 1% =8,53

| Terra       | Coeficiente de regressão |            |        |         |
|-------------|--------------------------|------------|--------|---------|
|             | Linear                   | Quadrática | Cúbica | 4º Grau |
| Sertãozinho | 0,89                     | 18,09      | 2,23   | 45,51   |
| M. Olimpo   | 1.497,65                 | 555,56     | 45,98  | 0,00    |
| Unidade 2   | 317,98                   | 105,50     | 52,55  | 4,64    |
| Unidade 18  | 31,56                    | 7,50       | 6,69   | 1,09    |

Nas amostras da série M. Olimpo, a significância da regressão linear é, de certo modo, lógica e fácil de ser compreendida. Entretanto, o mesmo não ocorre em relação à regressão quadrática, sendo, possivelmente, uma explicação razoável aquela dada para justificar a significância da mesma regressão na série Sertãozinho. A regressão cúbica exprime apenas uma tendência dos dados obtidos por se encontrar além dos limites experimentais.

Na Unidade 2 todas as regressões foram significativas, porém, apenas a linear se encontra dentro dos limites do ensaio e explica realmente o fenómeno ocorrido. As demais sugerem tendências do mesmo.

Na Unidade 18 todas as regressões foram significativas, exceto a de 4.º grau. Os autores, entretanto, não dispõem de elementos para elucidar o motivo da significância das regressões quadrática e cúbica. Pode-se, contudo, constatar que a tendência é mais acentuada para a linearidade (Quadro 6) e isso está de acordo com o esperado.

Resultados relativos à variação dos teores de hidrogênio trocável.

Como era de se esperar, a adição de  $CaCO_3$  resultou numa forte redução dos teores de  $H^+$  trocável das terras principalmente da série M. Olimpo e das Unidades 2 e 18. Com relação à série Sertãozinho, embora elevada, tal redução não foi tão acentuada como nas três primeiras.

As médias dos teores de  $H^+$  trocável das 5 repetições estão apresentadas no Quadro 7.

Quadro 7 — Teores de  $H^+$  trocável das terras, médias de 5 repetições.

| Tratamento | Série ou Unidade do Solo |           |           |            |
|------------|--------------------------|-----------|-----------|------------|
|            | Sertãozinho              | M. Olimpo | Unidade 2 | Unidade 18 |
| Testemunha | 3,78                     | 7,22      | 7,14      | 7,70       |
| 1          | 3,78                     | 3,99      | 4,94      | 5,88       |
| 2          | 3,13                     | 2,36      | 3,95      | 3,61       |
| 3          | 2,82                     | 1,74      | 3,28      | 3,00       |
| 4          | 2,32                     | 1,73      | 2,85      | 2,16       |

Chama a atenção a igualdade das médias dos tratamentos Testemunha 1 da série Sertãozinho. Os autores não possuem elementos que expliquem essa igualdade.

A análise estatística revelou os seguintes valores  $F$  para os coeficientes das regressões  $H^+$  trocável x doses de  $CaCO_3$  (Quadro 8).

Constata-se, de imediato, uma forte tendência para a linearidade das regressões. As regressões de grau superior ao primeiro, exceto a quadrática da série Sertãozinho, estão fora dos limites experimentais. Neste caso, contudo, a regressão linear é muito mais expressiva que a quadrática.

Quadro 8 — Coeficientes de regressão  $H^+$  trocável x doses de  $CaCO_3$ .

F a 5% = 4,49

F a 1% = 8,53

| Terra       | Coeficiente de regressão |            |        |         |
|-------------|--------------------------|------------|--------|---------|
|             | Linear                   | Quadrática | Cúbica | 4º Grau |
| Sertãozinho | 112,86                   | 4,53       | 0,01   | 6,36    |
| M. Olimpo   | 8.390,69                 | 771,30     | 142,00 | 3,41    |
| Unidade 2   | 1.032,61                 | 0,03       | 44,53  | 1,10    |
| Unidade 18  | 5.557,95                 | 0,95       | 68,31  | 76,84   |

Comparando-se os dados dos Quadros 5 a 7 conclui-se que grande parte da acidez das terras estudadas, mesmo após a incubação com  $CaCO_3$ , se deve a outras fontes de prótons que não o  $Al^{3+}$  trocável.

## CONCLUSÕES

As principais conclusões são as seguintes:

- a) Os índices pH elevaram-se à medida em que as doses de  $\text{CaCO}_3$  foram elevadas. No tratamento 1, os valores obtidos estavam ao redor de 5,7;
- b) Os tratamentos afetaram de modo variável, de acordo com a terra, o teor de  $\text{Al}^{3+}$  trocável. Na terra da série M. Olimpo a quantidade de  $\text{CaCO}_3$  empregada no tratamento 1 foi insuficiente para reduzir o teor de  $\text{Al}^{3+}$  trocável a nível considerado não tóxico às plantas;
- c) O  $\text{CaCO}_3$  reduziu, fortemente os teores de  $\text{H}^+$  trocável das terras. Tal redução foi tanto maior quanto mais elevada foi a quantidade empregada desse sal.

## SUMMARY

### STUDIES ON NEUTRALIZATION OF SOIL ACIDITY CAUSED BY EXCHANGEABLE $\text{Al}^{3+}$ : I. EFFECTS ON pH AND EXCHANGEABLE $\text{Al}^{3+}$ AND $\text{H}^+$ .

This paper deals with a work carried out in order to study the effect of the neutralization of the soil acidity caused by exchangeable  $\text{Al}^{3+}$ .

Portions of 1.000g of soils were well mixed with increasing amounts of  $\text{CaCO}_3$ , put in vases and incubated for 45 days. The moist soils were kept at 40-50% for their field capacities.

The following soils were tested: Sertãozinho and Monte Olimpo series from the county of Piracicaba and 2 and 18 unities from Rio das Pedras county.

The treatments were as follows:

| Treatment | Amounts of Ca applied as $\text{CaCO}_3$ .   |
|-----------|--|
| Control   | $\text{CaCO}_3$ omitted  |
| 1         | Stoichiometrically amounts related to the exchangeable $\text{Al}^{3+}$ in 1.000g soil |
| 2         | Twice as applied in treatment 1  |
| 3         | Three times the amount applied in the treatment 1.                                     |
| 4         | Four times the amount applied in the treatment 1.                                      |

After the incubation period the soils were dried at the air and ground. Further, the pH and exchangeable  $\text{Al}^{3+}$  and  $\text{H}^+$  were measured.

The following conclusions can be drawn:

- a) The pH of the soils increased when the amounts of  $\text{CaCO}_3$  were increased.

- b) In the soil of Monte Olimpo serie, the amount of  $\text{CaCO}_3$  applied in the treatment 1 was not sufficient to reduce the exchangeable  $\text{Al}^{+3}$  to a level non toxic to the plants.

### LITERATURA CITADA

- BRAUNER, J. L. 1966. Extração e determinação do alumínio "trocável" do solo; variação no seu teor influenciado pela aplicação de carbonato de cálcio. Tese, ESALQ, Piracicaba, 34 p.
- BRAUNER, J. L., R. A. CATANI & V. C. BITTENCOURT. 1966. Extração e determinação do alumínio trocável do solo An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz", 23: 54-73, Piracicaba.
- BRAUNER, J. L. & R. A. CATANI. 1967. Variação no teor de alumínio trocável do solo, influenciada pela aplicação de carbonato de cálcio. An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz", 24: 57-69, Piracicaba.
- CATANI, R. A., J. R. GALLO & H. GARGANTINI. 1955. Amostragem de solo, métodos de análises, interpretação e indicações gerais para fins de fertilidade. Bol. 69, Inst. Agron. Campinas.
- CATANI, R. A. & O. ALONSO. 1969a. Avaliação da exigência de calcário do solo. An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz", 26: 141-156, Piracicaba
- CATANI, R. A. & O. ALONSO. 1969b. Extração do Alumínio trocável e o pH do solo. An. Esc. Sup. Agric. "Luiz de Queiroz", 26: 21-29, Piracicaba.
- COELHO, F. A. S. & F. VERLENGIA. s/ data. Fertilidade do solo. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, Campinas.
- COMISSÃO DE SOLOS. 1970. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo. Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas. Rio de Janeiro, 634 pp. (Boletim n.º 12).
- ESCOBAR, E. H. 1969. Gênese e classificação de alguns solos da bacia do Tijuco Preto. Rio das Pedras. Tese, ESALQ, Piracicaba, 59 pp.
- FONSECA, R., Z. SANTOS, A. F. JESUS, L.F.S. SOUZA & J.O. RESENDE. s/ data. Disponibilidade de fósforo e potássio e necessidade de calagem em solos do Estado de Sergipe. Inst. Pesq. e Exp. Agropecuárias do Leste, Cruz das Almas, 6 pp.
- GARGANTINI, H., F. A. S. COELHO, F. VERGENGIA & E. SOARES. 1970. Levantamento de fertilidade dos solos do Estado de São Paulo, Instituto Agrônomo, Campinas.
- GUIMARÃES, J. E. P. 1958. Problemas técnicos e econômicos da indústria e do consumo de corretivo de acidez no Estado de São Paulo. Secretaria de Estado dos Negócios da Agricultura. São Paulo.
- KAMPRATH, E. J. 1967. A acidez do solo e a calagem. Tradução de O. Muzilli e R. E. Kalchman, Rio de Janeiro, 23 pp. (Série Internacional de Análises de Solos, Bol. Técnico n.º 4).
- KAMPRATH, J. E. 1970. Exchangeable aluminium as a criterion for liming mineral soils. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 34: 352-354.
- MEDEIROS, G. B. 1971. Gênese e classificação de alguns solos do Ribeirão das Palmeiras — Rio das Pedras. Tese, ESALQ, Piracicaba, 80 pp.
- MUZILLI, O., R. E. KALCKMAN & F. G. MUNHOZ. 1969a. Estudo da correção da acidez dos solos do Estado do Paraná. I. Determinação de curvas de neutralização em Latossolos Roxo do Oeste Rev. Agron. e Vet. 5: 25-33, Curitiba.

- 
- MUZILLI, O., R. E. KALCKMAN & W. MENDES. 1969b. Estudo da correção da acidez dos solos do Estado do Paraná. II. Ensaio em vasos, com latossolos roxo do Oeste. Rev. Esc. Agron. e Vet. 5:35-38, Curitiba.
- MUZILLI, O. & R. E. KALCKMAN. 1969c. Estudo da correção da acidez dos solos do Estado do Paraná. III. Ensaio de campo, em latossolos roxo do Oeste. Rev. Esc. Agron. e Vet. 5: 39-45, Curitiba.
- RANZANI, G., O. FREIRE & T. KINJO. 1966. Carta de solos do Município de Piracicaba. Centro de Estudos de Solos, ESALQ, Piracicaba.
- SOUZA, L. F. 1970. Acidez e calagem dos solos. Inst. Pesq. e Exp. Agropecuárias do Leste, Cruz das Almas, 20 pp.