

# AVALIAÇÃO DA EXIGÊNCIA EM CALCÁRIO DOS SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO, MEDIANTE CORRELAÇÃO ENTRE O pH E A PORCENTAGEM DE SATURAÇÃO EM BASES \*

R. A. CATANI e J. ROMANO GALLO

Engenheiros agrônomos — Secção de Fertilidade do Solo  
Instituto Agronômico de Campinas

## 1 — INTRODUÇÃO

O emprêgo de calcário em diversos países com a finalidade de aumentar a produção das culturas, tem fornecido resultados variáveis. Se de um lado, muitos dos dados demonstram ter havido um acréscimo sensível na produção de certas culturas, por outro lado, são também numerosos os casos em que a produção não se modificou, ou mesmo, decresceu pelo uso exclusivo de calcário.

Considerando-se a mesma cultura, as variações dos resultados obtidos pela prática da calagem, têm como causa principal o grau de fertilidade do solo. Quando um solo está bem provido de nitrogênio, fósforo e potássio (para citar apenas os três elementos principais), e apresenta uma acidez elevada, deve ser esperado um acréscimo substancial na produção da cultura em que foi empregado o calcário. Isto porque neste caso, a acidez excessiva associada à pobreza de cálcio e magnésio do solo, são fatores limitantes da produção. Quando, porém, se trata de um solo pobre em nitrogênio, ou em fósforo, ou em potássio, ou em dois desses elementos, ou ainda nos três conjuntamente, o uso exclusivo de calcário não pode fornecer resultado satisfatório, em virtude de razões evidentes.

De um modo geral, o uso eficiente de calcário depende da execução de um programa que inclui adubações nitrogenadas,

---

(\*) Trabalho apresentado ao XI Congresso Brasileiro de Química, realizado em São Paulo, em julho de 1954.

fosfatadas e potássicas isoladas ou conjuntamente, conforme o caso, e associadas com rotação de culturas em que entre uma leguminosa. Em outras palavras, não se deve esperar que o calcário sane todas as deficiências dos solos, mas a sua contribuição é imprescindível no melhoramento da fertilidade do solo, quando o seu uso é associado com o dos demais fertilizantes e com outras práticas.

Os métodos recomendados para a avaliação da quantidade de calcário, que deve ser adicionada ao solo para elevar o seu pH a um valor determinado, têm sido numerosos e os resultados obtidos nem sempre concordantes (4).

Como sabemos, o pH do solo ou de qualquer meio, indica a concentração de íon hidrogênio livre, (ou melhor, de  $H_3O^+$ , hidrônio ou hidroxônio) expressa em íon-grama por litro de solução. Sabemos ainda que a expressão matemática que relaciona o pH e a concentração em íons de hidrogênio é a seguinte:

$$pH = \log \frac{1}{|H^+|}, 1$$

onde  $|H^+|$  significa concentração em íon-grama de hidrogênio por litro de solução.

Uma vez que o pH mede a concentração de íons livres de hidrogênio na solução do solo, é de interesse conhecer as causas responsáveis pela variação na concentração daquele íon.

A fração argila do solo (partículas com diâmetro menor que 0,002 mm) apresenta a propriedade de adsorver ou reter em sua superfície os íons  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$  e  $H^+$ . A soma dos teores dos mencionados cátions, expressa em equivalentes miligramas por 100 g de solo, define a "capacidade de troca" de cátions do solo e tem por símbolo  $t$ . Por outro lado, a soma dos teores de cálcio, magnésio, potássio e sódio, também em equivalentes miligramas por 100 g de solo, é denominada soma das bases e é simbolizada por  $s$ . A porcentagem de saturação em bases do solo ou índice de saturação é expresso pela relação

$\frac{s}{t} \times 100$  e tem por símbolo  $i$ . Como é evidente, a porcentagem de saturação de bases indica o número de equivalentes miligramas de bases ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$  e  $\text{Na}^{+}$ ) que integram 100 equivalentes miligramas de cátions ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Na}^{+}$  e  $\text{H}^{+}$ ) adsorvidos aos colóides do solo. Assim, um solo com uma saturação em bases de 40%, significa que em cada 100 equivalentes miligramas de cátions adsorvidos, existem 40 e. mg de bases ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$  e  $\text{Na}^{+}$ ) e 60 e. mg de hidrogênio.

Tem sido constatado que solos com elevada saturação em bases apresentam pH elevado e vice-versa, isto é, há uma certa relação entre o pH do solo e a sua saturação em bases (2, 3 e 4). Em outras palavras, o pH do solo (íon de hidrogênio livre na solução do solo) depende não só da concentração de íon hidrogênio adsorvido aos colóides do solo, como também da soma das bases, isto é, o pH do solo é uma consequência da porcentagem de saturação em bases.

O presente trabalho tem por objetivo verificar a relação existente entre o pH e a saturação em bases nos solos do Estado de S. Paulo e estabelecer um método relativamente rápido de estimar a exigência de calcário.

## 2 — MATERIAL E MÉTODOS

Como material de estudo foram utilizadas 85 amostras de vários tipos de solo do Estado de S. Paulo, a saber: 27 amostras de solo arenito Baurú, oriundo do arenito do mesmo nome; 21 amostras de solo massapé-salmourão, proveniente de rochas do complexo cristalino: gnaisses, granitos, micaxistos, etc.; 27 amostras de terra roxa legítima, originária de diabase (eruptiva básica) e terra roxa misturada, resultante de misturas de produtos de decomposição de diabase e de outras rochas; 9 amostras de solo rico em matéria orgânica e formado em condições de submersão, em baixadas.

Foram determinados o pH, o H<sup>+</sup> adsorvido e os teores de Ca<sup>+</sup><sup>2</sup>, Mg<sup>+</sup><sup>2</sup> e K<sup>+</sup> trocáveis nas amostras citadas e calculadas a soma das bases *s*, a capacidade de troca de cátions *t* e a porcentagem de saturação em bases expressa pela relação  $\frac{s}{t} \cdot 100$ , representada por *i*.

O pH foi determinado na suspensão obtida com 10 g de terra e 25 ml de água destilada após 3 horas de repouso.

A soma das bases *s* foi calculada a partir das determinações do cálcio, magnésio e potássio extraídos por percolação de 10 g de terra com 100 ml de solução de HNO<sub>3</sub> 0,05 N. A capacidade de troca *t* foi calculada somando-se *s* ao teor de hidrogênio adsorvido (H<sup>+</sup>). O H<sup>+</sup> adsorvido foi determinado por agitação de 5 g de terra com 100 ml de solução normal de acetato de cálcio, durante 15 minutos; filtrou-se e uma alíquota de 50 ml foi titulada com NaOH 0,02 N, usando 3 gotas de solução alcoólica de fenolftaleína a 1% como indicador. O número de ml de soda gasto na titulação, menos o volume em ml de soda consumido pelo acetato de cálcio, avaliado por titulação de uma prova em branco, fornece o volume de soda consumido pelo H<sup>+</sup> do solo. Este volume multiplicado por 0,8 dá a quantidade de H<sup>+</sup> adsorvido por 100 g de solo.

### 3 — DADOS OBTIDOS

Os dados obtidos relativos ao pH e à porcentagem de saturação de bases de cada amostra, foram transferidos para um sistema de coordenadas conforme o gráfico da figura 1. A figura 1 demonstra existir uma relação entre aquelas duas características numa amplitude de valores que oscilou para o pH de 4,40 a 7,45 e para a porcentagem de saturação de bases de 15% a 90%. Foi calculada a equação de regressão e obteve-se  $y = 0,03126x + 4,288$ , onde *x* representa a porcentagem de saturação em bases da amostra de solo e *y*, o pH respectivo. O valor do coeficiente de correlação *r* foi de 0,9477, altamente sig-

nificativo (1). O valor do coeficiente de regressão 0,3126 esclarece que o pH varia de 0,1 unidade quando a porcentagem de saturação em bases oscila de 3,2%.

Uma vez estabelecida a relação entre o pH e a porcentagem de saturação em bases, torna-se fácil calcular a quantidade de neutralizante necessária para elevar o pH de 100 g de solo a um valor determinado. Assim, por exemplo, deseja-se elevar o pH de 5,50 para 6,50 de um solo cujas características são as seguintes :

Soma de bases (sl)	2,9	e.mg/100 g de solo
Capacidade de troca de cátions (t)	7,2	e.mg/100 g de solo
sl		
% de saturação de base (il = $\frac{\text{sl}}{\text{t}} \cdot 100$ )	40,0%	
t		

De acôrdo com o gráfico ou com a equação de regressão obtida, para uma saturação de 70% (i2) em bases, corresponde um pH 6,50. De maneira que o solo precisa ter a sua saturação em bases acrescida de i2 — i1, isto é, deve sofrer um acréscimo de 30%. Como a capacidade de troca de cátions (t) é igual a 7,2 e.mg por 100 g de solo, 30% de 7,2 equivale a 2,16 e.mg de bases ou de neutralizantes necessários (n1). Sabendo-se o número de e.mg de bases para elevar o pH ao valor desejado, calcula-se a quantidade de calcário necessário para um hectare na

profundidade de 15 ou 20 cm. Para 15 cm, a expressão  $2 \frac{n1}{n2}$  fornece o número de toneladas de calcário por hectare para elevar o pH do solo ao valor desejado. Nessa expressão, n1 é o número de e.mg conforme foi calculado e n2 é o número de e.kg de neutralizante existente em 100 kg do calcário

(\*) Os autores agradecem à Secção de Técnica Experimental do Instituto Agrônômico, pelos cálculos referentes aos coeficientes de regressão e correlação.

$$\left( \frac{\% \text{CaO}}{28} + \frac{\% \text{MgO}}{20} \right)$$

Como na maioria dos calcários usados no Estado de S. Paulo, n2 é aproximadamente igual a 2, isto é, o número de e.kg de neutralizantes em 100 kg de calcário é próximo de 2, a expressão 2  $\frac{n1}{n2}$  torna-se igual a n1. Resulta portanto que o número de toneladas de calcário necessário para elevar o pH de um hectare na profundidade de 15 cm é igual ao número de e.mg de bases (n1) necessário para elevar a saturação de bases de valor (i1) para outro (i2) cujo pH corresponde ao pretendido.

Para verificar se os dados assim calculados forneciam números próximos aos reais, foram feitas determinações do pH em amostras de solos procedentes de uma experiência executada em vasos com o fito de se estudar o efeito do calcário em soja (1).

A quantidade de calcário, finamente moído, colocada nos vasos foi calculada para se obter uma saturação em bases de 70%, que corresponde ao pH igual a 6,50 aproximadamente, conforme, o gráfico da figura 1. Após 2 meses (tempo de duração da experiência) de ação do calcário, o pH do solo tinha alcançado o valor médio de 6,25 (média de 9 repetições). Levando-se em conta o curto período de duração da experiência, os dados obtidos podem ser considerados satisfatórios.

O método apresentado para o cálculo da quantidade de calcário necessária a fim de elevar o pH do solo a um valor determinado, exige o conhecimento da porcentagem de saturação em bases. Para tornar menos morosa a avaliação da necessida-

---

(1) Gallo, J. R., R. A. Catani e H. Gargantini. Efeito de três tipos de calcário na reação do solo e no desenvolvimento da soja. Trabalho não publicado.

de de calcário, procurou-se estabelecer um modo de calcular que estivesse baseado em determinações de características do solo fáceis e rápidas de serem executadas.

Se há uma correlação entre o pH e a porcentagem de saturação em bases, determinada a primeira característica, obtém-se o valor da segunda com aproximação suficiente, mediante o gráfico de figura 1. Então, com a determinação do pH na amostra de solo, pode-se obter o valor da porcentagem de saturação de bases ( $s_1$ ). Determinando-se o hidrogênio trocável ( $H^+$ ) e somando-se ao valor de  $s_1$ , obtém-se a capacidade de troca de cátions ( $t_1$ ). A saturação em bases é expressa por :

$$i_1 = \frac{s_1}{t_1} \quad 2$$

Da mesma maneira, através da figura 1, pode-se obter o valor de  $s_2$  (porcentagem de saturação de bases) correspondente ao pH desejado. Pode-se também escrever :

$$i_2 = \frac{s_2}{t_1} \quad 3$$

O que se pretende conhecer é  $s_2 - s_1$ , isto é, o número de e.mg de bases que deve ser adicionado a 100 g de solo ( $n_1$ ) para elevar a sua porcentagem de saturação de bases, e consequentemente o seu pH, a um valor desejado. Calculando-se  $s_2 - s_1$  em função do hidrogênio trocável e do índice de saturação ( $i_1$  e  $i_2$ ), obtém-se :

$$n_1 = s_2 - s_1 = \frac{H(i_2 - i_1)}{1 - i_1} \quad 4$$

Na equação 4 :

$n_1 = s_2 - s_1$  indica o número de e.mg de bases que deve ser adicionado a 100 g de solo para elevar o seu pH ao valor desejado; êste valor é praticamente igual ao número de toneladas

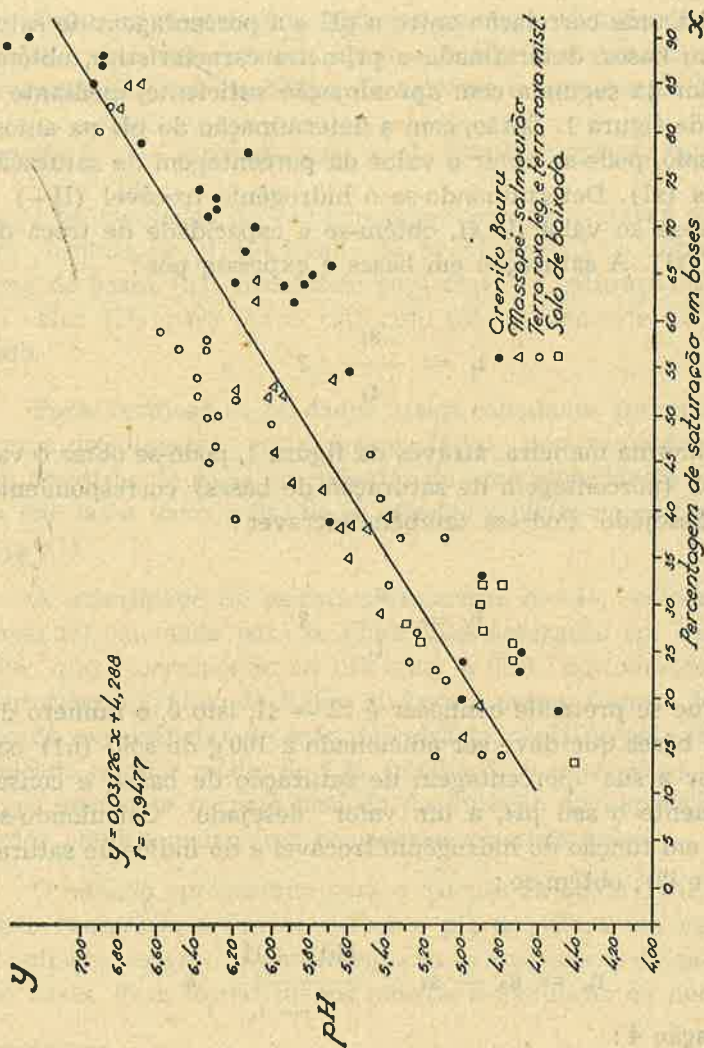


Fig. 1 — Relação entre o pH e a percentagem de saturação em bases de 85 amostras de solos do Estado de São Paulo



de calcário que deve ser adicionado a um hectare de terra na profundidade de 0 — 15 cm;

H é o número de e.mg de H+ trocável em 100 g de solo determinado como foi descrito;

i2 é a % de saturação de bases do solo necessária para atingir o pH desejado. Este valor pode ser obtido mediante a determinação do pH e através do gráfico 1;

i1 é a % de saturação de bases do solo original. Este valor pode ser obtido mediante a determinação do pH do solo, usando-se o gráfico 1.

Na expressão 4, fazendo-se H+ igual a 1 e fixando-se o valor de i2 igual a 70% (saturação em base desejada para os solos do Estado de S. Paulo), obtém-se os dados do quadro 1.

Quadro 1 — Quantidade de calcário em toneladas que deve ser adicionada a um hectare, na profundidade de 0 — 15 cm, em função do pH para cada unidade de H+ trocável.

pH	Toneladas de calcário por hectare
4,80	0,64
4,90	0,63
5,00	0,61
5,10	0,59
5,20	0,58
5,30	0,56
5,40	0,54
5,50	0,51
5,60	0,48
5,70	0,45
5,80	0,42
5,90	0,39
6,00	0,38
6,10	0,29
6,20	0,23
6,30	0,17
6,40	0,09

A primeira coluna do quadro 1 indica o pH do solo e a segunda coluna, o número de equivalentes miligramas de bases

por 100 g de solo ou o número de toneladas de calcário por hectare à profundidade de 0 — 15 cm, para uma unidade de hidrogênio trocável. Conforme mostra o quadro 1, para se conhecer a quantidade de calcário por hectare que deve ser adicionada ao solo para elevar o seu pH a um valor próximo de 6,50, basta determinar o pH e o H+ trocável. Assim, um solo com pH = 5,10 e com 6,20 e.mg de H+ trocável por 100 g de solo, necessita de  $6,20 \times 0,59$  ou aproximadamente 3,7 toneladas de calcário por hectare para elevar no máximo o seu pH a 6,50.

E' evidente que o pH do solo nas condições de campo pode não atingir aquele valor, em virtude de tempo de ação, perdas e grau de finura do calcário, natureza da cultura, condições climáticas adversas, etc, mas representa o limite máximo que seria alcançado quando todos os fatores fossem favoráveis.

Procedendo-se o cálculo da maneira conforme foi indicada, aplica-se uma quantidade de calcário suficiente, evitando-se os inconvenientes decorrentes do uso excessivo de calcário.

#### 4 — CONCLUSÕES

a) O pH do solo é uma consequência da porcentagem de saturação em bases, representada por  $\frac{s}{t} \times 100$  onde  $s$  é a soma de bases e  $t$  a capacidade de troca de cátions ( $s + H$ ), isto é, soma das bases + hidrogênio.

b) Em 85 amostras de solos do Estado de S. Paulo observou-se uma relação muito pronunciada entre o pH e a porcentagem de saturação em bases. A equação de regressão obtida para aquelas duas variáveis foi a seguinte:  $y = 0,03126x + 4,288$  onde  $x$  é a porcentagem de saturação em bases e  $y$ , o pH. A equação obtida esclarece existir uma relação linear entre as duas variáveis e que para uma variação de 3,2% na porcentagem de saturação em bases ocorre uma variação de 0,1 unidade no pH.

c) Torna-se fácil e rápida a avaliação da quantidade de calcário que deve ser adicionada ao solo para a devida corre-

ção. Basta determinar o hidrogênio trocável e o pH do solo. Com as duas determinações citadas calcula-se a quantidade de

calcário mediante a expressão  $H \frac{i_2 - i_1}{1 - i_1}$ , onde H represen-

ta a quantidade de hidrogênio trocável, em equivalentes miligramas por 100 g de solo;  $i_2$  é a porcentagem de saturação em bases necessária para atingir o pH desejado e é calculada de acordo com a correlação obtida;  $i_1$  é a porcentagem de saturação em bases do solo original, também calculada conforme equação de regressão obtida.

### 5 — RESUMO

Os métodos recomendados para a avaliação da quantidade de calcário que deve ser adicionada ao solo para elevar o seu pH a um valor determinado, têm sido numerosos. Entretanto, os métodos mais eficientes são os que levam em conta a correlação existente entre a porcentagem de saturação em bases e o pH do solo.

Os autores do presente trabalho determinaram o pH, a soma das bases (s) e a capacidade de troca de cátions (t) de inúmeras amostras de vários tipos de solos do Estado de S. Paulo. Constataram a existência de uma relação linear entre o pH e a porcentagem de saturação em bases (i), expressa pela equação de regressão;  $y = 0,03126x + 4,288$ , onde x representa a porcentagem de saturação em bases e y, o pH da amostra de solo.

Uma vez estabelecida a correlação entre o pH e a porcentagem de saturação em bases, foi deduzida a expressão:

$n_1 = H \frac{i_2 - i_1}{1 - i_1}$ , onde  $n_1$  permite calcular rapidamente a

quantidade em equivalentes miligramas de base que deve ser adicionada a 100 g de solo para elevar o seu pH a um valor determinado. Na citada expressão, H representa o teor de hidrogênio adsorvido, expresso em equivalentes miligramas por 100 g de solo;  $i_2$  representa a porcentagem de saturação em bases necessária para atingir o pH desejado;  $i_1$  indica a porcentagem

de saturação em bases do solo no estado inicial. Tanto o valor de  $i_2$  como o de  $i_1$  são obtidos em função dos pH respectivos.

### SUMMARY

In order to study the relationship between pH and percentage base saturation in the soils of the State of S. Paulo, Brazil, 85 soil samples were analysed in exchangeable calcium, magnesium, potassium and hydrogen, and in pH.

There is a linear relationship between pH and percentage base saturation and the equation for the regression of those soil characteristics is  $y = 0.03126x + 4.288$ , where  $y$  is the soil pH value and  $x$  is the percentage base saturation. The correlation coefficient for these values is 0.9744.

The estimation of the number of milliequivalents of bases per 100 grams of soil needed to increase the soil pH to a given value can be made by the following expression:  $H \frac{i_2 - i_1}{1 - i_1}$ .

where  $H$  is the exchangeable hydrogen;  $i_2$  is the desired percentage base saturation (70%) corresponding to pH 6,50;  $i_1$  is the percentage of the original soil whose value can be estimated based on pH determination. From the number of milliequivalent of base per 100 g of soil it is easy to calculate the number of tons of limestone per hectare/15 centimeters.

### LITERATURA CITADA

- 1 — HOYERT, J. H. & Axley, J. H. — Influence of liming materials on pH values of siw Maryland soils. *Soil Sci.* 73: 61-69. 1952.
- 2 — MERKLE, F. G. — Base exchange studies on the Pennsylvania Jordan field plots. *Soil Sci.* 38: 37-64. 1934.
- 3 — PEECH, M. Availability of ions in sandy soils. *Soil Sci.* 51: 473-486. 1941.
- 4 — PEECH, M. Chemical methods for assessing soil fertility. In Kitchen, H. B. edit. *Diagnostic techniques for soils and crops.* Washington, American Potash Institute, 1948. p. 1-52.