

RECOMENDAÇÃO ALTERNATIVA DE CALCÁRIO PARA SOLOS ALTAMENTE TAMPONADOS DO EXTREMO SUL DO BRASIL

ALTERNATIVE LIMING RECOMMENDATION FOR HIGHLY BUFFERED SOILS OF SOUTHERN BRAZIL

Jaime Antonio de Almeida¹ Paulo Roberto Ernani² Kátia Cilene Maçaneiro³

RESUMO

A recomendação de calcário nos estados do extremo sul do Brasil (RS e SC) objetiva elevar o pH do solo até 6,0 para a maioria das culturas. No entanto, para solos altamente tamponados, que contenham bastante matéria orgânica, esse valor de pH pode ser bem menor. O presente trabalho objetivou avaliar as modificações químicas em vários parâmetros de solo relacionados com a acidez, ocasionadas pela elevação do pH até 5,2, bem como comparar métodos de recomendação de calagem e quantidades necessárias para atingir esse pH relativamente às atuais recomendações. Utilizaram-se 28 (vinte e oito) solos ácidos de Santa Catarina, aos quais se aplicou calcário, em 1984, a fim de obterem-se as curvas de neutralização da acidez. Após cinco meses de incubação, determinaram-se os valores de pH, $Ca^{2+} + Mg^{2+}$, K^+ , Na^+ e Al^{3+} trocáveis e de $(H + Al)$ e, a partir desses valores, calcularam-se a soma de bases (S), CTC efetiva, CTC a pH 7,0, índice de saturação por bases (V%), e índice de saturação por alumínio (m%). Para diagnosticar a necessidade de calcário para elevar o pH a 5,2 compararam-se os métodos do Al^{3+} , $H + Al$, Saturação por Bases, SMP, e a combinação de Al^{3+} mais M.O. A elevação do pH-H₂O para 5,2 diminuiu o Al^{3+} , na média dos solos, de 4,24 para 0,67 cmol_c kg⁻¹, o $H + Al$ de 13,04 para 8,74 cmol_c kg⁻¹ e a m% de 52 para 8%, e aumentou o $Ca + Mg$ de 3,61 para 8,38 cmol_c kg⁻¹ e a V% de 24 para 50%. Todos os métodos foram eficientes para recomendar calagem até pH-H₂O 5,2, porém o $Al + M.O.$ foi o mais preciso e o saturação por bases o menos eficiente. A elevação do pH para 5,2 ao invés de 5,5 ou 6,0 resultaria numa economia de calcário de, respectivamente, 1,4 e 3,1 t ha⁻¹. Quando consideram-se somente os solos altamente tamponados, com pH SMP inferior a 5,0, a economia de calcário seria de 3,0 e 7,0 t ha⁻¹ respectivamente, podendo atingir até 5,0 e 10,6 t ha⁻¹ em solos com pH SMP 4,4.

Palavras-chave: calagem, pH, métodos de recomendação de calcário, solos tamponados.

SUMMARY

Lime recommendation for Rio Grande do Sul (RS) and Santa Catarina (SC) States in Brazil aims to raise soil water pH up to 6.0 to most crops. For highly buffered soils containing high organic matter content, this pH value may be lower. This study was carried out to evaluate the magnitude of changes on soil parameter values related to acidity due to increases on soil water pH to 5.2, as well as to compare analytical methods for lime recommendation, and lime requirement rates to attain this pH value relatively to the actual recommendations to raise soil pH to 5.5 or 6.0. Twenty-eight soils from Santa Catarina State were limed in 1984 with increasing rates of calcium carbonate in order to get the acidity neutralization curves. After 5 months of incubation, soil pH, exchangeable $Ca^{2+} + Mg^{2+}$, K^+ , Na^+ and Al^{3+} , and $(H + Al)$ were determined. From these data the sum of base (S), effective CEC, CEC at pH 7.0, percentage base saturation (V%), and Al^{3+} saturation on effective CEC (m%) were calculated. Four analytical methods (Al^{3+} , $H + Al$, SMP, and base saturation), in addition to the sum of Al^{3+} and organic matter (OM), were compared to determine lime requirement to raise soil pH to 5.2. The increase of soil water pH to 5.2 decreased Al^{3+} from 4.24 to 0.67 cmol_c kg⁻¹, $H + Al$ from 13.04 to 8.74 cmol_c kg⁻¹ and (m%) from 52 to 8%, and increased $Ca + Mg$ from 3.61 to 8.38 cmol_c kg⁻¹ and V% from 24 to 50%. All analytical methods were efficient for lime recommendation to pH 5.2, however, the combination of Al^{3+} and OM was the most efficient and base saturation the least efficient. To increase soil water pH to 5.2 rather than to 5.5 or 6.0 would result in a limestone economy of 1.4 and 3.0 t ha⁻¹, respectively. For the highly buffered soils, with pH-SMP equal or below 5.0, the economy would be still larger, respectively of 3.0 and 7.0 t ha⁻¹, which could attain up to 5.0 and 10.6 t ha⁻¹ for soils with pH-SMP of 4.4.

Key words: liming, pH, lime requirement methods, buffered soils.

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor do Departamento de Solos, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), CP. 281, 88520-000, Lages (SC). Bolsista de Pesquisa do CNPq. Autor para correspondência. Email: a2jaa@cav.udesc.br.

² Engenheiro Agrônomo, PhD., Professor da UDESC. Bolsista de Pesquisa do CNPq.

³ Aluno do Curso de Agronomia da UDESC, bolsista de Iniciação Científica do CNPq/PIBIC.

INTRODUÇÃO

Grande parte dos solos do extremo sul do Brasil são muito ácidos, deficientes em fósforo e apresentam toxidez de alumínio aos vegetais. Nas regiões com elevada altitude, predominam solos de textura argilosa ou muito argilosa, com altos teores de matéria orgânica, o que lhes confere um elevado tamponamento (ERNANI & ALMEIDA, 1986). Em muitos desses solos, o pH SMP varia de 4,6 a 4,0, e, portanto, requerem de 11 a 15t ha⁻¹ de calcário (PRNT 100%) para elevar o pH-H₂O a 5,5, e de 20 a 29t ha⁻¹ para elevá-lo a 6,5 (COMISSÃO, 1995).

O custo da aplicação dessas altas doses de calcário, mesmo para elevar o pH a 5,5, é elevado e economicamente inviável para muitos agricultores, pelo menos no início do processo produtivo. Por falta de recursos financeiros, esses produtores ou não aplicam essas doses ou aplicam-nas em quantidades inferiores, sem nenhum critério técnico, o que pode limitar o rendimento das culturas. Mesmo começando o processo produtivo com valores de pH inferiores aos que proporcionam os rendimentos máximos, é interessante dar alternativas aos produtores para obter maior chance de lucros em suas culturas. Com o passar dos anos, espera-se uma capitalização dos mesmos, que assim poderão adquirir calcário e elevar o pH do solo para patamares mais altos.

Os maiores prejuízos às plantas em solos ácidos são ocasionados pela presença de quantidades tóxicas de Al e de Mn, e pela deficiência de Ca e/ou Mg. Em baixos valores de pH do solo, a disponibilidade de P e de MO, assim como, a atividade micro-orgânica, são também negativamente afetados, porém assumem menor importância, pois esses problemas podem ser superados pela aplicação de maiores quantidades desses nutrientes e de N. A aplicação de Ca e Mg também é resolvida pela aplicação de doses baixas de calcário dolomítico, ao redor de 2 a 3t /ha⁻¹. Os maiores problemas nos solos ácidos, resumem-se, portanto, à fitotoxicidade de Al e de Mn.

Vários trabalhos de pesquisa, entretanto, têm demonstrado que os maiores incrementos ocasionados pela calagem no rendimento de várias culturas ocorrem até em torno de pH 5,5 (MASCARENHAS, 1983; SIQUEIRA, 1989; QUAGGIO, 1989; ERNANI *et al.*, 1998), onde os níveis de Al trocável já são muito baixos ou inexistentes. Para solos com altos teores de matéria orgânica, essa faixa de pH pode ser ainda menor, principalmente se os valores de P e K forem altos (ERNANI *et al.*, 1997).

O presente trabalho objetivou avaliar as principais modificações químicas causadas em vários solos catarinenses pela elevação do pH em água a 5,2, bem como avaliar métodos de recomendação quantitativa de calcário para atingir esse valor de pH.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se 28 (vinte e oito) solos ácidos catarinenses, coletados na camada superficial de 0-20cm de profundidade. A classificação, o local de coleta e algumas características físicas e químicas desses solos estão na tabela 1. Outras informações sobre os mesmos podem ser obtidas no trabalho de ERNANI & ALMEIDA (1986).

Em unidades experimentais de 2,0kg (base seca) de cada um desses solos, aplicaram-se, em 1984, sete doses crescentes de calcário, correspondentes, em t/ha, a 0; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0; 1,25 e 1,50 vezes o número de cmol_c kg⁻¹ de H + Al, a fim de obterem-se as curvas de neutralização da acidez. O calcário foi obtido pela mistura de CaCO₃ com MgCO₃, puros e finamente moídos, na relação 3:1, em peso, e as doses foram corrigidas para PRNT 100%. Após a homogeneização completa, os solos foram umedecidos até aproximadamente 80% da capacidade de campo e acondicionados em sacos plásticos, que foram abertos e revolvidos a cada trinta dias, durante 150 dias. Após esse período, coletaram-se amostras em todas as unidades experimentais e nelas determinaram-se os valores de pH-H₂O e de pH em solução de CaCl₂ 0,01 M (pH-CaCl₂), ambos na relação solo/solvente de 1:1. Determinaram-se também Ca²⁺ + Mg²⁺, K⁺, Na⁺ e Al³⁺ trocáveis e de (H + Al), e a partir desses valores, calcularam-se a soma de bases (S), CTC efetiva, CTC a pH 7,0, índice de saturação por bases (V%) e índice de saturação por alumínio (m%). Nas amostras que não receberam calcário, determinaram-se também os teores de argila e de matéria orgânica. Os valores desses parâmetros no pH 5,2 foram obtidos a partir das equações de regressão das curvas de neutralização.

O Al³⁺ e o Ca²⁺ + Mg²⁺ foram extraídos com solução de cloreto de potássio 1mol ℓ⁻¹ e determinados por titulometria de neutralização e complexometria, com NaOH e EDTA respectivamente; o H + Al foi extraído com solução de acetato de cálcio 0,5mol ℓ⁻¹, pH 7,0, na relação solo-solução 1:20, e determinado através de titulometria de neutralização com NaOH; o Na⁺ e o K⁺ foram extraídos com solução de acetato de amônio 1mol ℓ⁻¹ e determinados por espectrofotometria de emissão; e a matéria orgânica e o pH-SMP foram determinados de acordo com TEDESCO *et al.* (1985).

Para estimar a quantidade de calcário necessária para elevar o pH-H₂O dos solos para 5,2, testaram-se os métodos do alumínio trocável (Al³⁺), hidrogênio mais alumínio (H + Al), saturação por bases e SMP, além da combinação dos valores de Al³⁺ mais M.O. A origem e o princípio desses métodos estão descritos com detalhes no trabalho de ERNANI & ALMEIDA (1986). A necessidade de calcário fornecida pelo método do Al + M.O. foi obtida através de análise de regressão múltipla

(stepwise ORIGIN 3.5 - Scientific and Technical Graphics in Windows), relacionando a necessidade de calcário por incubação com os valores de Al + M.O. dos solos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A elevação do pH-H₂O para 5,2 diminuiu substancialmente os valores de alumínio nos solos. O alumínio trocável (Al³⁺) diminuiu, na média dos

Tabela 1 - Caracterização taxonômica e valores de alguns parâmetros químicos dos solos utilizados⁽¹⁾.

Solo ⁽²⁾	Clas.	Unid Taxonômica	Argila	M.O.	pH SMP	pH-H ₂ O	pH-CaCl ₂	S ⁽³⁾	CTC
			----- g kg ⁻¹ -----					---- cmolc kg ⁻¹ ----	
01	CH	Lages	410	60,1	4,60	4,45	3,70	1,3	14,0
02	LBH	Vacaria	680	54,8	4,55	4,50	3,80	2,0	14,6
03	TB	Vacaria	630	63,4	4,95	4,60	3,90	2,6	15,0
06	LRH	Durox	710	-	4,60	4,50	3,90	2,6	23,4
10	LRH	Palma Sola	710	73,4	4,55	4,60	3,80	1,7	18,3
13	LR	Erexim	690	51,5	4,55	4,40	3,85	1,9	14,6
14	TB	Catanduvás	750	74,8	4,60	4,35	3,85	5,4	20,0
16	LRH	Durox	750	74,6	4,60	4,55	3,85	3,4	19,0
17	CH	Volta Grande	310	59,0	4,45	3,95	3,60	2,3	14,1
19	TB	Vacaria	620	65,8	4,70	4,80	4,05	6,0	19,2
22	LE	Canoinhas	480	53,8	4,70	4,45	3,80	1,1	13,2
23	PE	Içara	330	25,0	5,45	5,00	4,20	3,4	8,8
24	CH	Rancho Grande	560	52,0	4,60	4,80	4,10	6,9	19,7
28	PE	Içara	230	19,3	5,65	4,65	4,00	1,6	6,2
29	PV	Morro da Fumaça	330	43,1	5,40	4,70	4,20	4,9	11,1
30	PV	Ibirama	190	27,4	5,50	4,95	4,05	2,8	6,4
31	PV	Ilha	470	47,0	5,00	4,30	3,70	2,1	10,6
32	PV	Brusque	230	33,2	5,05	4,55	3,65	1,0	7,2
35	PV	Orleans	470	40,7	5,50	4,65	3,95	2,6	8,7
36	C	Tubarão	370	29,8	5,25	4,95	4,15	7,4	14,6
38	CH	Lages	430	66,0	5,00	5,20	4,30	6,1	15,2
39	CH	Mafra	390	18,8	4,75	4,90	4,30	12,4	38,6
40	CBH	Irani	510	104	4,15	3,85	3,55	1,2	27,1
42	PVL	Lauro Muller	430	40,3	4,20	4,15	3,50	0,8	13,4
44	CH	Pouso Redondo	460	41,0	4,10	4,40	3,75	7,1	19,9
45	C	Rio do Sul	490	35,0	4,10	3,95	3,45	2,3	15,0
46	HGH	Jundiá	600	87,0	3,95	3,90	3,60	6,0	25,6
48	CH	Cerro Alto	340	77,0	4,05	4,05	3,50	0,7	19,4

⁽¹⁾Dados obtidos por ERNANI & ALMEIDA (1986).

⁽²⁾Usou-se a mesma numeração adotada por ERNANI & ALMEIDA (1986).

⁽³⁾Soma de bases.

CH=Cambissolo Húmico;

C=Cambissolo;

CBH=Cambissolo Bruno Húmico;

TR= Terra Roxa Estruturada;

TB=Terra Bruna Estruturada;

LR= Latossolo Roxo;

LRH=Latossolo Roxo Húmico;

LBH=Latossolo Bruno Húmico;

LE=Latossolo Vermelho Escuro;

HGH=Glei Húmico;

PV=Podzólico Vermelho Amarelo;

PE=Podzólico Vermelho Escuro;

PVL= Podzólico Vermelho Amarelo Latossólico.

solos, de 4,24 para 0,67 cmol_c kg⁻¹. Em nenhum solo ele foi eliminado completamente no pH 5,2, porém em 9 dos 28 solos os valores de Al³⁺ foram inferiores a 0,5 cmol_c kg⁻¹ e somente 5 solos apresentaram valores superiores a 1,0 cmol_c kg⁻¹. Nesse valor de pH, nenhum solo apresentou Al³⁺ superior a 1,5 cmol_c kg⁻¹, mesmo aqueles que originalmente apresentavam mais de 6,0 cmol_c kg⁻¹ (tabela 2).

Nesse trabalho, os solos com maior tamponamento possuem também altos teores de matéria orgânica, o que minimiza a toxicidade do Al aos vegetais (KAPLAND & ESTES, 1985). Por isso, é importante preservar ao máximo a M.O. dos solos altamente tamponados, principalmente quando o pH é inferior a 5,5, pois os valores de Al ligados à M.O.

são muito altos (FIGUEIREDO & ALMEIDA, 1991; ERNANI *et al.*, 1998) e podem ser liberados para a solução do solo quando esta for decomposta (BLOOM *et al.*, 1985). O aumento do teor de P no solo, garantindo maior mobilidade desse nutriente em direção às raízes, também permite a obtenção de altos rendimentos vegetais na presença de Al, uma vez que as plantas ficam menos dependentes da existência de um amplo sistema radicular (ERNANI *et al.*, 1997).

Os valores de H + Al diminuíram, em média, de 13,0 no pH original dos solos para 8,7 cmol_c kg⁻¹ no pH 5,2, sendo que as amplitudes de variação desses parâmetros foram respectivamente de 4,2 a 27,1 cmol_c kg⁻¹ e de 2,8 a 21,4 cmol_c kg⁻¹, o

Tabela 2 - Valores de Al³⁺, H⁺+ Al³⁺, Ca⁺⁺+ Mg⁺⁺, saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m%) nas amostras de solo com pH natural (nat.) ou com pH-H₂O 5,2 (pH em CaCl₂ 4,7). Média de 2 repetições.

Solo	Al ³⁺		H ⁺ +Al ³⁺		Ca ⁺⁺ +Mg ⁺⁺		V		m	
	nat.	pH 5,2	nat.	pH 5,2	nat.	pH 5,2	nat.	pH 5,2	nat.	pH 5,2
	-----cmol _c kg ⁻¹ -----						----- % -----			
01	4,78	0,69	12,42	8,24	1,18	5,70	11	42	76	12
02	4,52	0,60	10,67	7,34	4,16	6,86	29	50	51	8
03	3,72	0,61	11,70	8,44	2,34	6,37	18	43	59	9
06	4,38	1,18	20,75	13,85	4,25	9,88	18	43	49	12
10	3,66	0,51	16,32	10,93	1,41	6,62	9	38	69	9
13	4,54	0,74	13,59	9,63	1,95	6,53	14	41	68	11
14	4,56	0,75	15,13	11,07	2,42	7,79	16	42	61	10
16	5,06	0,82	15,62	10,51	3,10	8,72	18	45	60	10
17	3,76	0,21	12,69	7,19	3,84	8,03	25	55	47	3
19	5,21	0,83	14,10	10,58	3,35	7,94	20	44	59	10
22	2,67	0,27	11,74	8,16	1,24	6,02	11	42	66	6
23	1,12	0,21	6,26	4,84	2,99	4,59	34	50	26	4
24	3,28	0,64	13,03	9,00	7,18	11,54	38	57	29	6
28	1,79	0,43	6,59	4,92	1,70	4,14	36	49	47	10
29	1,26	0,26	10,57	7,58	5,78	7,33	36	51	17	3
30	1,09	0,15	4,21	2,79	2,78	4,67	42	62	27	3
31	3,98	0,54	8,52	5,61	2,87	5,86	27	52	47	9
32	2,59	0,25	5,71	3,86	2,97	5,45	35	58	45	4
35	1,07	0,22	5,91	4,20	2,69	5,05	33	54	27	4
36	2,26	0,57	10,63	8,29	7,88	10,65	43	56	22	5
38	1,93	0,47	9,87	7,32	6,62	9,89	41	58	22	5
39	4,06	0,98	27,07	21,39	12,96	19,88	33	48	23	5
40	7,92	1,52	19,42	13,39	1,74	8,39	10	38	80	18
42	6,45	0,70	14,76	8,08	0,20	7,81	3	47	94	10
44	6,82	0,83	12,69	6,79	4,78	11,19	30	63	55	7
45	8,67	1,02	13,24	6,04	1,81	9,77	17	62	76	10
46	9,85	1,31	22,23	13,41	5,30	17,69	22	56	62	8
48	7,75	1,45	19,87	11,33	1,54	10,38	8	48	81	16
Médias	4,24	0,67	13,04	8,74	3,61	8,38	24	50	52	8
Variação	1,07-9,85	0,15-1,52	4,21-27,07	2,79-21,39	0,20-12,96	4,14-19,88	3-43	38-63	17-94	3-18

que demonstra o alto poder tamponante dos solos utilizados (tabela 2). A magnitude da diminuição foi menor no H + Al do que no Al^{3+} , tendo em vista que este último é o principal componente tamponante da acidez até pH próximo de 5,2, enquanto que o H tampona a acidez até valores de pH mais elevados.

A saturação média de alumínio na CTC diminuiu de 52% para 8% no pH 5,2. Somente em cinco solos a m% foi superior a 10% nesse valor de pH, e em três desses ela era superior a 75% no pH natural. No pH 5,2, nenhum solo apresentou índice m superior a 20%, o que mostra que a chance de haver toxicidade de Al para as culturas nesse valor de pH é bastante limitada. A amplitude de variação da %m variou de 17 a 94 nos solos com pH original e de apenas 3 a 18 nos solos com pH 5,2 (tabela 2).

Os valores de Ca + Mg do solo aumentaram de 3,6 $cmol_c kg^{-1}$ nas amostras sem calcário para 8,4 $cmol_c kg^{-1}$ nas com pH 5,2, aumentando consequentemente a saturação por bases de 24 para 50% (tabela 2). Esses valores de Ca + Mg são muito superiores ao nível crítico atribuído pela Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos (ROLAS) dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, que é de 5,0 $cmol_c kg^{-1}$ (COMISSÃO, 1995). Os incrementos observados nos teores de Ca + Mg e saturação com bases, e a diminuição do Al trocável e da percentagem de Al na CTC, representam melhorias significativas na fertilidade do solo, que certamente deverão se refletir no aumento da produtividade para a maioria das culturas nesses solos com alto tamponamento. Para esses solos, que têm alta necessidade de calcário, a correção da acidez até pH 5,2 pode constituir-se numa alternativa econômica viável para os produtores de baixa renda, principalmente no início do processo produtivo. Vários trabalhos mostram bons rendimentos das culturas, mesmo em solos com acidez elevada. QUAGGIO *et al.* (1998) obtiveram a máxima produtividade de grãos de soja quando o solo apresentava saturação de bases de 50%, na presença de Mo nas sementes. CAIRES *et al.* (1998) não obtiveram aumento de rendimento de soja pela aplicação de calcário sobre a superfície de um Latossolo Vermelho Escuro que possuía 32% de saturação de bases, 18% de saturação com alumínio e pH 4,5. ERNANI *et al.* (1998) obtiveram aumento de rendimento de milho pela calagem de apenas 17% num Latossolo Bruno que possuía pH 4,7, Al = 3,3 $cmol_c kg^{-1}$ e 56% de saturação com Al.

As equações de regressão entre a necessidade de calcário obtida

por incubação para elevar o pH em H_2O a 5,2 com a necessidade fornecida pelos diferentes métodos apresentaram altos coeficientes de correlação (tabela 3). A combinação de Al + M.O. teve o coeficiente de correlação mais elevado ($r^2=0,94$), seguido, em ordem decrescente, pelos métodos SMP ($r^2=0,91$), Al^{3+} ($r^2=0,90$), H + Al ($r^2=0,88$), e saturação por bases ($r^2=0,83$). Estes resultados diferem dos obtidos por CIPRANDI (1993) para elevar o pH- H_2O dos solos com baixos teores de argila, do Rio Grande do Sul a 5,5, onde o coeficiente de correlação para o Al + M.O. foi de 0,73, muito inferior ao do método SMP, que foi 0,84. KAMINSKI (1974) e ERNANI & ALMEIDA (1986), trabalhando com solos do RS e SC respectivamente, obtiveram coeficientes de correlação maiores para o H + Al do que para o índice SMP na determinação da quantidade de calcário para elevar o pH a 5,5, 6,0 e 6,5.

A leitura do pH SMP, como vem sendo executada nos laboratórios de análise de solos do RS e SC, pode também ser utilizada para estimar a necessidade de calcário dos solos para elevar o pH- H_2O até 5,2. Considerando que os teores de Al e de M.O. também são determinados nas análises de rotina, seus valores podem igualmente ser empregados para conferência das necessidades de calcário dos solos a partir de equação constante na tabela 3.

As reduções nas quantidades de calcário recomendadas para elevar o pH a 5,2 são, em média, de 1,4 e 3,1 $t ha^{-1}$ inferiores àquelas necessárias para elevar o pH a 5,5 ou 6,0. As reduções são mais expressivas quando são considerados somente os solos altamente tamponados, com pH SMP inferior a 5,0, nos quais as quantidades recomendadas para pH 5,2 são, em média, 3,0 e 7,0 $t ha^{-1}$ inferiores às recomendadas para elevar o pH a 5,5 ou 6,0. Para solos com pH-SMP 4,4 a economia com calcário atingiria respectivamente 5,0 e 10,6 $t ha^{-1}$ (tabela 4).

Tabela 3 - Equações de regressão e coeficientes de correlação (r) entre as necessidades de calcário ($t ha^{-1}$) obtidas pelo método da incubação com as fornecidas pelos métodos do Al, H+Al, SMP, saturação por bases, e Al + M.O.

Métodos	(r)	Equações
Al^{3+}	0,90	$NC = 0,66 + 2,40 Al^{3+} - 0,102 (Al^{3+})^2$
H + Al	0,88	$NC = -2,99 + 1,12 (H + Al) - 0,020 (H + Al)^2$
SMP*	0,91	$NC = 91,31 - 28,43SMP + 2,230(SMP)^2$
Saturação por Bases (V%)	0,83	$NC = 1,54 + 1,62V\% - 0,055(V\%)^2$
Al^{3+} e Matéria Orgânica	0,94	$NC = 0,43 + 1,38Al + 0,363M.O.$

* Relação solo/água/solução SMP de 1:1:0,5.

Tabela 4 - Quantidades de calcário ($t\ ha^{-1}$) obtidas pelo método SMP para elevar o pH-H₂O dos solos desse trabalho a 5,2 e recomendadas pela Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solos do RS e SC (ROLAS) para elevar o pH dos solos a três valores de pH.

pH SMP	pH EM ÁGUA A ATINGIR			
	5,2	5,5	6,0	6,5
	----- ha ⁻¹ -----			
4,4	9,4	15,0	21,0	29,0
4,5	8,5	12,5	17,3	24,0
4,6	7,7	10,9	15,1	20,0
4,7	6,9	9,6	13,3	17,5
4,8	6,2	8,5	11,9	15,7
4,9	5,5	7,7	10,7	14,2
5,0	4,9	6,6	9,9	13,3
5,1	4,3	6,0	9,1	12,3
5,2	3,8	5,3	8,3	11,3
5,3	3,3	4,8	7,5	10,4
5,4	2,8	4,2	6,8	9,5
5,5	2,4	3,7	6,1	8,6
5,6	2,0	3,2	5,4	7,8
5,7	1,7	2,8	4,8	7,0
5,8	1,4	2,3	4,2	6,3
5,9	1,2	2,0	3,7	5,6
6,0	1,0	1,6	3,2	4,9
6,1	0,9	1,3	2,7	4,3
6,2	0,8	1,0	2,2	3,7
6,3	0,7	0,8	1,8	3,1
6,4	0,4	0,6	1,4	2,6
6,5	0,2	0,4	1,1	2,1
6,6	0,0	0,2	0,8	1,6
6,7	0,0	0,0	0,5	1,2
6,8	0,0	0,0	0,3	0,8
6,9	0,0	0,0	0,2	0,5
7,0	0,0	0,0	0,0	0,2
Médias*	3,4	4,8	6,5	8,8

* Obtidas somente a partir dos valores onde a recomendação de calcário foi diferente de zero.

CONCLUSÕES

A elevação do pH em H₂O para 5,2 diminuiu o alumínio trocável médio dos solos de 4,24 para 0,67cmol_c kg⁻¹ e a m% de 52 para 8%, e aumentou o Ca + Mg de 3,6 para 8,4cmol_c kg⁻¹ e a V% de 24 para 50%. Todos os métodos testados foram eficientes para recomendar calcário para elevar o pH em água até 5,2. A elevação do pH em H₂O para 5,2 ao invés de 5,5 ou 6,0 reduziria a quantidade média de calcário a aplicar em 1,4 e 3,1t ha⁻¹, respectivamente; para os solos mais tamponados, com pH SMP inferior a 5,0, a redução seria, respectivamente, de 3,0 e 7,0t ha⁻¹.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLOOM, P.R., McBRIDE, M.B., WEAVER, R.M. Aluminum organic matter in acid soils: buffering and solution aluminum activity. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 43, p. 488-493, 1985.

CAIRES, E.F., CHUEIRI, W.A., MADRUGA, E.F., *et al.* Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 22, p. 27-34, 1998.

CIPRANDI, M.A.O. *Avaliação da metodologia de determinação da acidez ativa e potencial em solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre - RS. 1993. 90p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1993.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. *Recomendação de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. 3. ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul/EMBRAPA/CNPQ, 1995. 224 p.

ERNANI, P.R., ALMEIDA, J.A. Comparação de métodos analíticos para avaliar a necessidade de calcário dos solos do Estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 10, n. 2, p. 143-150, 1986.

ERNANI, P.R., NASCIMENTO, J.A., CAMPOS, M.L. O aumento do fósforo no solo diminui a fitotoxicidade do alumínio. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1997. Rio de Janeiro, RJ. *Anais...* Rio de Janeiro: Soc. Bras. de Ciência do Solo, 1997. (CD-Room).

ERNANI, P.R., NASCIMENTO, J.A.L., OLIVEIRA, L.C. Increase of grain and green matter of corn by liming. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 275-280, 1998.

FIGUEIREDO, O.A.R., ALMEIDA, J.A. Quantificação das formas trocáveis e não trocáveis de alumínio em solos ácidos do Estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 15, n. 2, p. 151-156, 1991.

KAMINSKI, S.J. *Fatores de acidez e necessidade de calcário em solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre - RS. 1974. 96 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1974.

KAPLAND, D.I., ESTES, G.O. Organic matter relationship to soil nutrient status and aluminum toxicity in Alfafa. *Agronomy Journal*, Madison, v. 77, p. 735-738, 1985.

MASCARENHAS, H.A.A. Calagem para soja. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 15., 1983, Campinas. *Anais...* Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 40 p. p. 145-163.

QUAGGIO, J.A. Resposta das culturas à calagem em outros Estados. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, 1989. Santa Maria, RS. *Anais...* Santa Maria: UFSM, 1983. 224 p. p. 177-199.

QUAGGIO, J.A., GALLO, P.B., FURLANI, A.M.C., *et al.* Isoquantas de produtividade de soja e sorgo para níveis de calagem e molibdênio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 337-344, 1998

SIQUEIRA, O.J.F. Resposta das culturas à calagem e a fósforo em solos do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina e seus reflexos técnico-econômicos. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO, 1983. Santa Maria, RS. *Anais...* Santa Maria: UFSM, 1989. 224 p. p.151-176.

TEDESCO, M.J., GIANELLO, C., BISSANI, C.A., *et al.* *Análise de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. Boletim Técnico, 5.