

APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E FÓSFORO E ESTABILIDADE DA ESTRUTURA DE UM SOLO ÁCIDO⁽¹⁾

J. A. ALBUQUERQUE⁽²⁾, C. BAYER^(3,5), P. R. ERNANI^(2,5),
A. L. MAFRA⁽²⁾ & E. C. FONTANA⁽⁴⁾

RESUMO

O presente estudo objetivou avaliar o efeito da aplicação de calcário e fósforo sobre o comportamento estrutural de um solo ácido com altos teores de argila e matéria orgânica, típico do planalto sul brasileiro. O experimento foi realizado no campo, num Latossolo Bruno, em Lages (SC), no delineamento de blocos ao acaso, disposto em parcelas subdivididas. Os tratamentos consistiram da aplicação, no início do experimento, de 0, 4,5 e 9,0 Mg ha⁻¹ de calcário, combinada com adições anuais médias de fósforo correspondentes a 42, 84, 126 e 168 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Determinaram-se o grau de flocculação da argila, a estabilidade de agregados, a condutividade elétrica, o ponto de efeito salino nulo (PESN) e a composição química do solo. A dispersão da argila aumentou linearmente com a dose de calcário aplicada, o que foi relacionado com a elevação do PESN e do potencial elétrico superficial negativo. Essas alterações nos atributos físico-químicos dos colóides de solo não interferiram, entretanto, sobre a estabilidade estrutural avaliada pelo diâmetro médio ponderado dos agregados, o que pode estar relacionado com o efeito indireto da calagem sobre a agregação graças ao maior aporte de resíduos vegetais ao solo e do estímulo à atividade biológica do solo, além da própria adição de Ca. A adição de P não alterou nenhum atributo físico analisado. A adição de calcário, apesar de aumentar a dispersão da argila, não comprometeu a qualidade física desse solo argiloso com alto tamponamento.

Termos de indexação: calagem, agregação, dispersão, PESN, solos de carga variável.

⁽¹⁾ Trabalho apresentado na 23ª Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e Água, Ilhéus, 2000. Recebido para publicação em outubro de 2002 e aprovado em maio de 2003.

⁽²⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Caixa Postal 281, CEP 88520-000 Lages (SC). E-mail: a2ja@cav.udesc.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGR. Agronomia, Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). E-mail: cimelio.bayer@ufrgs.br

⁽⁴⁾ Engenheiro-Agrônomo, UDESC.

⁽⁵⁾ Bolsista do CNPq.

SUMMARY: *EFFECTS OF LIMING AND PHOSPHORUS APPLICATION ON THE STRUCTURAL STABILITY OF AN ACID SOIL*

The objective of this field experiment was to evaluate the effect of liming and phosphorus application on the structural stability of a clayey acid soil with high organic matter content, a typical feature of the southern Brazilian plateau. The study was carried out on a Brown Latosol (Haplohumox), in Lages, State of Santa Catarina, Brazil, in a split plot arrangement of a completely randomized block design. Treatments consisted of lime application at rates of 0, 4.5, and 9.0 Mg ha⁻¹ at the beginning of the experiment, combined with mean annual P applications of 42, 84, 126, and 168 kg ha⁻¹ of P₂O₅. The clay flocculation degree, aggregate stability, electrical conductivity, point of zero salt effect (PZSE), and the chemical soil composition were determined. Clay dispersion increased linearly with the liming rate, and was related to the increase in PZSE and negative surface electric potential. These alterations in the physicochemical attributes of the soil colloids, however, had no influence on the structural stability of the soil, as evidenced by the mean weight diameter of the aggregates. This might be a consequence of the indirect positive effects of liming on soil aggregation as a consequence of the increased biological soil activity, as well as the beneficial influence of Ca addition. Phosphorus fertilizers did not affect any soil physical attributes. Liming, in spite of increasing clay dispersion, had no detrimental affect on the physical quality of this highly buffered soil.

Index terms: lime, clay dispersion, PZSE, soil aggregation, variable charge soils.

INTRODUÇÃO

A calagem e a adubação fosfatada são práticas de manejo da fertilidade do solo que elevam o rendimento das culturas, especialmente nas regiões de maior altitude do sul do Brasil, onde predominam solos extremamente ácidos e deficientes em fósforo (Ernani et al., 2000). A aplicação de calcário eleva os teores de Ca e Mg, diminui ou elimina o Al trocável e aumenta as cargas negativas nesses solos que têm predomínio de cargas variáveis. Essas alterações químicas podem, entretanto, influenciar alguns atributos físicos do solo, por alterar o comportamento eletroquímico dos colóides. Esses efeitos são complexos e muitas interações podem ocorrer por meio de mecanismos muitas vezes ainda pouco conhecidos (Haynes & Naidu, 1998).

As mudanças na estrutura do solo e o rompimento dos agregados decorrentes do uso agrícola indevido normalmente acarretam restrições ao crescimento radicular, reduzindo a exploração de água e nutrientes pelas culturas. Essas alterações são, muitas vezes, manifestadas pela compactação acentuada, diminuindo a porosidade e a infiltração de água no solo, aumentando o acúmulo de água sobre a superfície e a erosão hídrica. O selamento superficial do solo nessas condições restringiria a emergência das plantas e poderia favorecer a ocorrência de doenças radiculares. Em conjunto, essas modificações físicas viriam a comprometer o desenvolvimento das culturas aí presentes.

As alterações nos atributos físicos de solos com colóides de carga variável, como os Latossolos, em

especial na camada superficial mais rica em matéria orgânica, podem ser provocadas por diversos mecanismos, a saber: (a) quebra dos agregados por efeito mecânico causado pelo revolvimento do solo ou pisoteio animal (Fontes et al., 1995); (b) perda da matéria orgânica, que é um dos principais agentes cimentantes das partículas do solo, e (c) alterações químicas advindas do uso de corretivos e adubos (Westerhof et al., 1999).

As mudanças na estabilidade de agregados e outros atributos físicos do solo, decorrentes da calagem e da adubação, podem estar ligadas a dois mecanismos principais. O primeiro deles refere-se ao efeito direto de tais práticas, que modificam a composição química da solução do solo. Assim, as alterações no pH, na força iônica da solução e nos tipos de íons presentes, influenciariam significativamente a dispersão ou flocculação dos colóides, interferindo, por consequência, na agregação das partículas do solo (Seta & Karathanasis, 1997). O segundo mecanismo refere-se ao efeito indireto da adição de calcário e adubos ao solo, que favoreceria a produção de fitomassa das culturas, levando a uma maior adição de matéria orgânica, que incrementaria a atividade microbiana e a estabilidade dos agregados (Haynes, 1984).

Algumas dessas alterações nos atributos físicos do solo advindas da adição de calcário e fosfato são relatadas por Butierres (1980) e por Morelli & Ferreira (1987), que estudaram, em laboratório, o efeito dessas práticas sobre o comportamento físico-hídrico de solos da região sul do Brasil. Nesses casos, os efeitos variaram entre os horizontes e entre os solos e foram condicionados principalmente pelo teor

de matéria orgânica do solo. Outro estudo desenvolvido em campo por Albuquerque et al. (2000), num Latossolo Bruno da região sul, evidenciou o papel isolado da calagem na alteração dos atributos físicos do solo.

O presente estudo objetivou avaliar o efeito da adição de calcário e fósforo sobre o comportamento eletroquímico de superfície das partículas e sua relação com a estabilidade da estrutura de um solo altamente tamponado.

MATERIAL E MÉTODOS

No estudo, utilizaram-se amostras de solo, coletadas em setembro de 1999, em experimento realizado, durante cinco anos, na região do planalto catarinense, em Lages (SC). O solo é um Latossolo Bruno argiloso álico (Haplohumox), derivado de basalto, e a altitude do local é de 937 m. A mineralogia da fração argila é predominantemente caulínica e em menor quantidade, argilominerais 2:1 com hidróxi-Al nas entrecamadas, gibbsita e goethita (Albuquerque et al., 2000). O clima da região é do tipo mesotérmico úmido com verão fresco, Cfb, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual é de 15,6 °C e a precipitação média anual é cerca de 1.400 mm (Santa Catarina, 1986).

Os tratamentos consistiram de três doses de calcário dolomítico (0, 4,5 e 9,0 Mg ha⁻¹) correspondentes a 100 % de poder relativo de neutralização. Os níveis de calagem foram combinados com doses crescentes de fósforo, a saber: P₄₂, P₈₄, P₁₂₆ e P₁₆₈, correspondendo, respectivamente, a aplicações de P₂O₅, no primeiro ano, de 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹; no segundo, quarto e quinto ano, de 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹, e, no terceiro ano, de 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹, resultando numa dose média anual de 42, 84, 126 e 168 kg ha⁻¹ de P₂O₅. O fósforo foi adicionado na forma de superfosfato triplo. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com quatro repetições. O calcário e o adubo fosfatado foram distribuídos uniformemente a lanço e incorporados ao solo até aproximadamente 17 cm de profundidade, com duas arações e duas gradagens. O plantio de milho foi feito no verão, após pousio de inverno, com uso do preparo convencional do solo nos primeiros quatro anos e semeadura direta no ano anterior à amostragem do solo utilizada neste estudo.

As amostras de solo foram coletadas na camada de 0-10 cm de profundidade, com duas subamostras por tratamento, encaminhadas ao laboratório e secas em temperatura ambiente. Na terra fina seca ao ar, foram analisadas a condutividade elétrica em extrato solo-água destilada de 1:5 em volume (Tedesco et al., 1995) e a argila dispersa em água e

em NaOH 1 mol L⁻¹, pelo método da pipeta, com posterior cálculo do grau de floculação da argila (EMBRAPA, 1997). A estabilidade da estrutura do solo foi avaliada pelo diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), determinado por agitação em água dos agregados entre 4,76 e 8,00 mm, conforme método de Kemper & Chepil (1965).

Os atributos químicos analisados foram carbono orgânico, Al, Ca, Mg e K trocáveis, pH em água e em solução de KCl 1 mol L⁻¹, segundo métodos apresentados por Tedesco et al. (1995). O ponto de efeito salino nulo (PESN) foi determinado por titulação potenciométrica, em amostras compostas, obtidas a partir da mistura das quatro repetições, segundo EMBRAPA (1997). A partir dos valores de pH e PESN, calculou-se o potencial elétrico superficial (Ψ_0), expresso em mV, segundo Rajj & Peech (1972), utilizando a equação simplificada de Nernst: $\Psi_0 = 59,1 (\text{PESN} - \text{pH})$.

Os resultados foram submetidos à análise da variância pelo teste F, com posterior comparação de médias pelo teste de Tukey, a 5 %. Efetuou-se análise de correlação de Pearson entre DMP e grau de floculação da argila, em relação ao demais atributos químicos e eletroquímicos do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atributos químicos e eletroquímicos do solo

A calagem melhorou o ambiente edáfico na camada analisada, ao elevar o pH do solo, os teores de Ca e Mg trocáveis, a soma de bases e a CTC. Houve redução significativa nos teores de Al³⁺ trocável, observada já na dose de 4,5 Mg ha⁻¹ de calcário, acarretando, assim, redução na saturação por alumínio. A aplicação de calcário, por outro lado, não influenciou nos teores de K trocável e na condutividade elétrica do solo (Quadro 1).

A adição de adubos fosfatados durante cinco safras elevou linearmente os teores de fósforo disponível no solo, passando de 3,9 mg kg⁻¹ de P, quando da adição anual média de 42 kg ha⁻¹ de P₂O₅, para 11,5 mg kg⁻¹ de P, quando da aplicação anual média de 168 kg ha⁻¹ de P₂O₅, elevando, conseqüentemente, o rendimento das culturas (Ernani et al., 2000).

A correção da acidez do solo não influenciou os teores de carbono orgânico, diferindo do que foi constatado por Ernani et al. (2002) em solos semelhantes e por Azevedo et al. (1996), que estudaram a dinâmica evolutiva também de um Latossolo Bruno do Rio Grande do Sul submetido à calagem. Nestes casos, houve estímulo à decomposição mediante a calagem, atribuído ao aumento populacional dos microrganismos decorrente da elevação do pH do solo.

Quadro 1. Efeito da calagem e adubação fosfatada sobre os atributos eletroquímicos de um Latossolo Bruno argiloso álico

P ₂ O ₅ ⁽¹⁾	CE	pH	ΔpH	PES	PESN	Corg.	P	Ca	Mg	K	Al	SB	CTC	m
kg ha ⁻¹	mS m ⁻¹			mV		g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmolc kg ⁻¹						%
Sem calcário														
P ₄₂	22	4,6	-0,8	-48	3,8	27,5	5,4	0,9	0,5	0,5	3,9	1,9	5,7	67 A
P ₈₄	20	4,7	-0,9	-51	3,8	26,6	6,8	1,2	0,7	0,4	3,7	2,3	6,0	61 A
P ₁₂₆	20	4,7	-0,9	-53	3,8	26,8	7,4	1,5	0,8	0,4	3,4	2,8	6,2	56 A
P ₁₆₈	22	4,7	-0,9	-53	3,8	27,1	12,3	1,6	0,8	0,4	3,4	2,8	6,2	54 A
Média	21	4,7 C	-0,9 A	-51 A	3,8	27,0	8,0 A	1,3 C	0,7 C	0,4	3,6 A	2,4 C	6,0 C	60 A
4,5 Mg ha ⁻¹ calcário														
P ₄₂	30	5,5	-1,0	-101	3,8	26,7	3,1	4,3	3,8	0,5	0,5	8,5	9,0	6 B
P ₈₄	23	5,5	-1,1	-80	4,1	25,6	5,9	4,4	3,1	0,4	0,5	7,9	8,5	6 B
P ₁₂₆	26	5,6	-1,1	-86	4,1	26,0	7,2	4,7	4,0	0,5	0,4	9,2	9,6	4 B
P ₁₆₈	25	5,6	-1,2	-78	4,3	25,4	11,1	5,0	4,2	0,4	0,4	9,6	10,0	4 B
Média	26	5,5 B	-1,1 B	-87 B	4,1	25,9	6,8 AB	4,6 B	3,8 B	0,4	0,5 B	8,8 B	9,3 B	5 B
9,0 Mg ha ⁻¹ calcário														
P ₄₂	27	6,4	-1,1	-115	4,4	23,9	3,2	7,0	7,0	0,4	0,1	14,4	14,5	1 B
P ₈₄	32	6,3	-1,1	-117	4,3	24,0	4,3	7,0	6,7	0,4	0,2	14,1	14,3	1 B
P ₁₂₆	28	6,2	-1,0	-112	4,3	26,3	7,7	6,7	6,3	0,4	0,2	13,4	13,6	1 B
P ₁₆₈	26	6,3	-1,1	-116	4,3	24,8	11,2	7,0	6,7	0,4	0,1	14,1	14,2	1 B
Média	28	6,3 A	-1,1 B	-115 C	4,3	24,8	6,6 B	6,9 A	6,7 A	0,4	0,1 B	14,0 A	14,2 A	1 B
Efeito médio do fósforo														
P ₄₂	26	5,5	-1,0	-88	4,0	26,1	3,9 c	4,0 b	3,8	0,5 a	1,5	8,3	9,8	25 a
P ₈₄	25	5,5	-1,0	-83	4,1	25,4	5,6 bc	4,2 ab	3,5	0,4 ab	1,5	8,1	9,6	23 ab
P ₁₂₆	25	5,5	-1,0	-84	4,1	26,4	7,4 b	4,3 ab	3,7	0,4 ab	1,3	8,5	9,8	20 ab
P ₁₆₈	24	5,5	-1,1	-83	4,1	25,8	11,5 a	4,6 a	3,9	0,4 b	1,3	8,9	10,1	20 b
Análise de variância, P > F														
Calcário	ns	< 0,001	< 0,001	< 0,001	--	ns	0,033	< 0,001	< 0,001	ns	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Fósforo	ns	ns	ns	ns	--	ns	< 0,001	0,029	ns	0,051	ns	ns	ns	0,019
Interação	ns	ns	ns	ns	--	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,048

⁽¹⁾ Níveis de fósforo: P₄₂, P₈₄, P₁₂₆ e P₁₆₈, correspondendo, respectivamente, a aplicações anuais de 60, 120, 180 e 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no primeiro ano; 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅, no segundo, quarto e quinto ano, e 30, 60, 90 e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, no terceiro ano. CE = condutividade elétrica; PES = potencial elétrico superficial; ns = não-significativo a 5 %; — = não analisado.

A calagem aumentou o ponto de efeito salino nulo (PESN) do solo de 3,8, no solo sem calagem, para 4,3 quando foram adicionados 9,0 Mg ha⁻¹ de calcário. Este valor foi próximo a 4,6, referido como PESN da caulinita, a qual é o mineral de argila predominante nesse solo. Em todas as doses de calcário, o PESN foi inferior ao pH em água desses solos, evidenciando o predomínio de carga líquida negativa nesses colóides, o que também é confirmado pelos valores negativos de ΔpH (Quadro 1). O aumento do PESN do solo ocasionado pela calagem pode ser atribuído à adsorção específica de Ca e Mg por complexos de esfera interna, que levam à formação de cargas positivas nas superfícies dos colóides (Sposito, 1989). Outro fator que pode ter contribuído para elevar o PESN é a tendência de redução nos teores de carbono orgânico, resultante da calagem, uma vez que essas duas variáveis são inversamente relacionadas (Siqueira et al., 1990).

A aplicação de calcário elevou o potencial elétrico superficial negativo, que passou de -51 mV, no tratamento sem calcário, para -115 mV, na dose de 9,0 Mg ha⁻¹ de calcário (Quadro 1), graças ao aumento das cargas elétricas negativas decorrentes da adsorção química de hidroxilas na superfície dos óxidos de Fe e Al e nas arestas quebradas da caulinita (McBride, 1989), bem como da ionização de grupos funcionais da matéria orgânica, principalmente os carboxílicos (Uehara & Gillmann, 1981).

A adubação fosfatada não alterou o PESN do solo, nem o potencial elétrico superficial, possivelmente porque as doses de P empregadas foram relativamente baixas, tratando-se de um solo argiloso e com alto tamponamento. Entretanto, relatos na literatura indicam que a adição de fósforo diminui o PESN (Wann & Uehara, 1978; Dolui et al., 1991). Além disso, a adsorção de P, através de complexos de esfera interna em óxidos e hidróxidos de Fe e Al, age de forma

semelhante à calagem, aumentando as cargas negativas na superfície das partículas, o que incrementaria o potencial elétrico negativo superficial, como verificado por Sawhney (1974) e por Lima et al. (2000), em solos altamente intemperizados de Minas Gerais.

Em outro estudo, realizado durante seis anos por Dynia & Camargo (1998), num Latossolo do estado de Goiás, observou-se que tanto a adição de fosfatos quanto a combinação calagem e fósforo ocasionaram aumento na carga elétrica líquida e na CTC efetiva, no pH original do solo, mas não alteraram o PESN do solo. Essas alterações químicas podem influenciar a floculação e a dispersão das partículas, que dependem da interação eletrostática entre elas e da habilidade do ânion fosfato em reduzir a ação floculante dos cátions (El Swaify, 1973).

Modificações na estrutura do solo

A calagem diminuiu o grau de floculação da argila de 69 %, em média, no solo não calcariado, para aproximadamente 58 %, quando se adicionaram 9,0 Mg ha⁻¹ de calcário (Figura 1a). Esta redução está, provavelmente, relacionada com o aumento da espessura da dupla camada elétrica difusa dos colóides atribuído à criação de cargas negativas, a qual se evidencia pelo aumento na CTC e pela substituição do Al³⁺ pelo Ca²⁺ e Mg²⁺ no complexo de troca. Outra modificação resultante da calagem com influência sobre os atributos físicos do solo é a diminuição na atividade de Al³⁺ e H⁺ na solução do solo, que são os principais agentes floculantes em solos ácidos (Morelli & Ferreira, 1987). Nesse caso, há precipitação de polímeros de hidróxidos de Al, pelo aumento do pH do solo.

Todas essas alterações, ocorridas na superfície das partículas, refletem a diminuição das forças de atração entre os colóides, facilitando a dispersão em meio aquoso. Essa dispersão dos colóides pode reduzir os fluxos de solução e ar do solo, pois diminui o diâmetro e o volume dos poros (Roth & Pavan, 1991). Estes autores observaram que a correção da acidez com calcário, num Latossolo do Paraná, aumentou a argila dispersa em água com conseqüente redução da taxa de infiltração de água no solo.

Houve correlação positiva significativa entre o grau de floculação da argila com Al trocável, saturação por Al e carbono orgânico do solo e negativa com pH em água e em KCl, CTC, SB, Ca, Mg e potencial elétrico superficial negativo (Quadro 2).

A adição de fosfato ao solo, diferentemente da calagem, não interferiu sobre o grau de floculação da argila durante o período avaliado (Figura 1a). Esse comportamento refletiu-se também na ausência de correlação entre o grau de floculação e os teores de P no solo (Quadro 2). Por outro lado, alguns estudos com solos de regiões tropicais têm evidenciado efeito negativo da adição de fósforo sobre atributos físicos de solos ou horizontes com baixos teores de carbono orgânico.

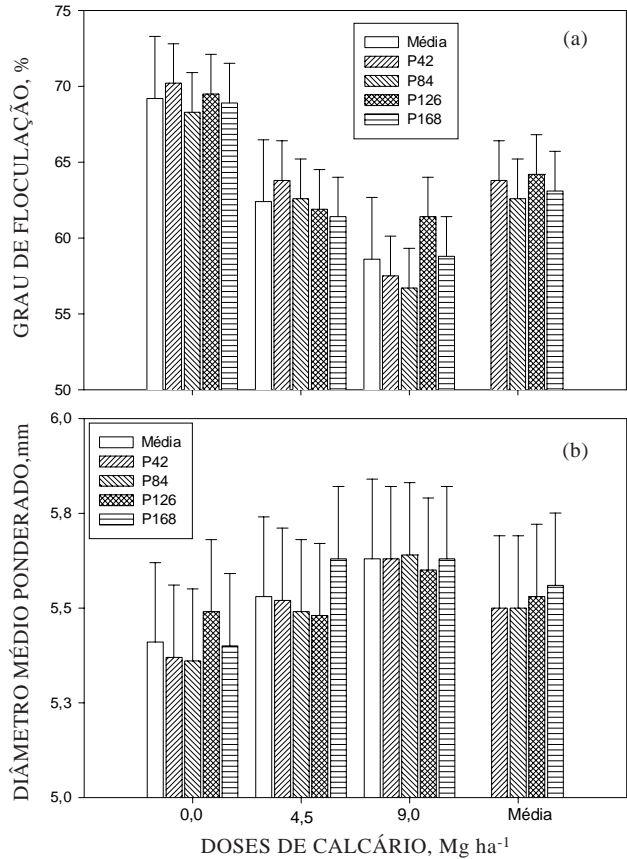


Figura 1. Efeito da calagem e adubação fosfatada sobre o grau de floculação da argila (a) e sobre o diâmetro médio ponderado dos agregados (b) de um Latossolo Bruno argiloso álico. Barras verticais entre médias do fator fósforo e entre médias do fator calcário correspondem às diferenças mínimas significativas calculadas pelo teste de Tukey, a 5 %.

Silva et al. (1999) verificaram, em dois solos do estado de Minas Gerais, com 12 e 22 g kg⁻¹ de C orgânico, uma dispersão de argila com a aplicação de fosfato, tornando-os mais sujeitos à compactação. A aplicação de P nesses solos alterou também os limites de consistência, reduzindo a amplitude da zona de friabilidade e a capacidade de trabalho e tráfego dos solos. O aumento na dispersão das argilas pela adição de fósforo foi também relatado por Lima et al. (2000) em solos altamente intemperizados de Minas Gerais. A adsorção de fósforo aumenta as cargas negativas na superfície das partículas e favorece a dispersão dos colóides, o que foi mais evidente no horizonte B em relação ao A, graças à menor influência da matéria orgânica como agregante em subsuperfície. Observou-se também que, quanto maior a diferença entre o ponto isoelétrico e o pH do solo, maiores as quantidades de argila dispersa.

Quadro 2. Coeficientes de correlação de Pearson entre indicadores da estabilidade da estrutura (grau de floculação, %, e diâmetro médio ponderado, mm) e atributos químicos e eletroquímicos de um Latossolo Bruno argiloso álico

Atributo do solo	Grau de floculação	Diâmetro médio ponderado
	%	mm
Condutividade elétrica (mS m ⁻¹)	-0,39**	0,14 ^{ns}
pH em água	-0,89**	0,48**
pH em KCl M	-0,86**	0,43**
Potencial elétrico superficial negativo (mV)	-0,85**	0,46**
Carbono orgânico (g kg ⁻¹)	0,54**	-0,48**
P (mg kg ⁻¹)	0,15 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	-0,89**	0,45**
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	-0,89**	0,48**
K (cmol _c kg ⁻¹)	0,02 ^{ns}	-0,23 ^{ns}
Al (cmol _c kg ⁻¹)	0,81**	-0,38**
Soma de bases (SB) (cmol _c kg ⁻¹)	-0,90**	0,47**
CTC (cmol _c kg ⁻¹)	-0,88**	0,48**
Saturação por alumínio (%)	0,81**	-0,38**
Grau de floculação	-	-0,48**

** e ^{ns} = Significativo a 1 % e não-significativo.

O diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), que é um indicativo da estabilidade da estrutura do solo, não foi afetado pela calagem e adubação fosfatada (Figura 1b), apesar das alterações químicas e eletroquímicas do solo com reflexos negativos na floculação de argila no solo pela calagem. Ao contrário, verificou-se ligeiro aumento no DMP pela aplicação de calcário. De maneira geral, esses solos tamponados do planalto sul-brasileiro, com teores satisfatórios de carbono orgânico, mostram alta estabilidade da estrutura, mantendo os agregados estáveis.

Nas condições estudadas, haveria um equilíbrio em termos de estabilidade da estrutura, sem interferência significativa das práticas adotadas. Diversos fatores estariam ligados a este equilíbrio, sendo a sua magnitude dependente do tipo de solo, das condições climáticas e do tempo de avaliação considerado (Castro Filho & Logan, 1991). Por um lado, verificou-se aumento da dispersão dos colóides e tendência de aumento da oxidação do carbono orgânico, que favoreceriam a desagregação. Contrariamente, a aplicação de calcário promoveu, em alguns casos, melhoria física, como num Latossolo Roxo, aumentando a estabilidade de agregados e a infiltração de água no solo (Roth et al., 1986). Essa melhoria estaria ligada ao estímulo ao aumento da população microbiana, que intensifica a decomposição da matéria orgânica e libera inúmeros compostos que atuam na ligação entre as partículas do solo. Outro mecanismo pelo qual a calagem interfere favoravelmente na agregação do solo é pela participação do Ca²⁺ na formação de complexos argila-húmus (Muneer & Oades, 1989), bem como pelo maior desenvolvimento das culturas

num ambiente edáfico mais adequado do ponto de vista químico.

Butierres (1980), avaliando as alterações nos atributos físicos do solo, advindas da adição de calcário e fosfatos em laboratório, observou que a aplicação de calcário diminuiu o grau de floculação das argilas de um Latossolo Roxo distrófico, mas aumentou no caso de um Planossolo. Para a aplicação de fósforo, verificou-se ligeira diminuição deste atributo nos dois solos. Em outro experimento semelhante, Morelli & Ferreira (1987) verificaram que a calagem e a adição de fósforo diminuíram a estabilidade da estrutura e o tamanho dos agregados de um Latossolo Roxo do Rio Grande do Sul. Este efeito esteve relacionado com o aumento na dispersão dos colóides, provocando, assim, redução na percolação de água no solo, possivelmente ligada à obstrução dos poros por partículas finas dispersas. Esses efeitos foram mais evidentes no horizonte B em relação ao horizonte A, em virtude do efeito cimentante da matéria orgânica do solo, a qual é mais abundante na camada superficial.

Essa diferenciação na estabilidade estrutural do solo provocada pela matéria orgânica já foi comprovada em ensaios de laboratório, que demonstram a influência do tipo de material orgânico e, em especial, das substâncias húmicas sobre a estabilidade coloidal de suspensões com argilas. O aumento da floculação das partículas estaria ligado a modificações eletrostáticas derivadas dos compostos orgânicos (Kretzschmar et al., 1997). No campo, o papel da matéria orgânica é salientado por Westerhof et al. (1999), que, trabalhando com Latossolos da região de Planaltina, DF, verificaram

diminuição na estabilidade dos agregados pela calagem, principalmente em solos revolvidos mecanicamente e com baixo teor de carbono orgânico. No solo sem preparo, esse efeito prejudicial da adição de calcário sobre a agregação não foi observado, o que possivelmente se deveu aos maiores teores de carbono orgânico nesta situação.

O DMP mostrou-se positivamente correlacionado com os teores de Ca, Mg, CTC, SB e com o pH em água e em KCl desse solo. Esse atributo teve correlação negativa com o carbono orgânico, Al, potencial elétrico superficial e grau de floculação da argila (Quadro 2). Os coeficientes de correlação, em todos esses casos, mostraram-se significativos, mas foram baixos, entre 0,4 e 0,5, indicando que a agregação do solo depende da interação de uma série de fatores do solo, além daqueles de influência direta da calagem e adição de adubos, dependendo do tipo de solo e mineralogia, teor de nutrientes, Fe e Al, atividade biológica, umedecimento e secagem e manejo do solo (Seta & Karathanasis, 1997).

CONCLUSÕES

1. A correção da acidez do solo elevou o PESN e o potencial elétrico superficial negativo, pelo aumento da carga líquida negativa das partículas.

2. A calagem não interferiu no diâmetro médio dos agregados, provavelmente em razão do efeito benéfico da matéria orgânica sobre os atributos físico-mecânicos do solo e da ação indireta da calagem sobre a agregação, pelo estímulo à atividade biológica do solo.

3. A calagem nesse solo com alto tamponamento interferiu negativamente na floculação das partículas, mas não comprometeu a estabilidade estrutural do solo.

LITERATURA CITADA

ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R. & FONTANA, E.C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. R. Bras. Ci. Solo, 24:295-300, 2000.

AZEVEDO, A.C.; KAMPF, N. & BOHNEN, H. Alterações na dinâmica evolutiva de Latossolo Bruno pela calagem. R. Bras. Ci. Solo, 20:191-198, 1996.

BUTIERRES, M.F.M. Efeito do calcário e fosfato de potássio no ponto de zero carga (PZC) e grau de floculação de três solos do Rio Grande do Sul. Santa Maria, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1980. 59p. (Tese de Mestrado)

CASTRO FILHO, C. & LOGAN, T.J. Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. Soil Sci. Soc. Am. J., 55:1407-1413, 1991.

DOLUI, A.K.; MUKHOPADHYAY, M. & NAYEK, A.K. Effect of phosphatic fertilizer on charge characteristics of soils in the tropics. Int. J. Trop. Agric., 9:259-266, 1991.

DYNIA, J.F. & CAMARGO, O.A. Effects of liming, green manuring, and phosphate addition on electrochemical attributes of an Oxisol from central Brazil. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 29:755-762, 1998.

EL SWAIFY, S.A. Structural changes in tropical soils due to anions in irrigation water. Soil Sci., 115:64-72, 1973.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

ERNANI, P.R.; BAYER, C. & MAESTRI, L. Corn yield as affected by liming and tillage system on an acid Brazilian oxisol. Agron. J., 94:305-309, 2002.

ERNANI, P.R.; NASCIMENTO, J.A.L.; CAMPOS, M.L. & CAMILLO, R.J. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. R. Bras. Ci. Solo, 24:537-544, 2000.

FONTES, M.P.F.; GJORUP, G.B.; ALVARENGA, R.C. & NASCIF, P.G.S. Calcium salts and mechanical stress effects on water-dispersible clay of Oxisols. Soil Sci. Soc. Am. J., 59:224-227, 1995.

HAYNES, R.J. Lime and phosphate in the soil-plant system. Adv. Agron., 37:249-315, 1984.

HAYNES, R.J. & NAIDU, R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: A review. Nutr. Cycling Agroecosy., 51:123-137, 1998.

KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARCK, F.E., eds. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.499-510. (Agronomy Monograph, 9)

KRETZSCHMAR, R.; HESTERBERG, D. & STICHER, H. Effects of adsorbed humic acid on surface charge and flocculation of kaolinite. Soil Sci. Soc. Am. J., 61:101-108, 1997.

LIMA, J.M.; ANDERSON, S.J. & CURTI, N. Phosphate-induced clay dispersion as related to aggregate size and composition in Hapludoxs. Soil Sci. Soc. Am. J., 64:892-897, 2000.

McBRIDE, M.B. Surface chemistry of soil minerals. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.35-88.

MORELLI, M. & FERREIRA, E.B. Efeito do carbonato de cálcio e do fosfato diamônico em propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo. R. Bras. Ci. Solo, 11:1-6, 1987.

MUNEER, M. & OADES, J.M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. III. Mechanisms and models. Aust. J. Soil Res., 27:411-423, 1989.

RAIJ, B. van & PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 36:587-593, 1972.

- ROTH, C.H. & PAVAN, M.A. Effect of lime and gypsum on clay dispersion and infiltration in samples of a Brazilian Oxisol. *Geoderma*, 48:351-361, 1991.
- ROTH, C.H.; PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; MEYER, B. & FREDE, H.G. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a estabilidade de agregados e infiltração de água em um Latossolo Roxo cultivado com cafeeiros. *R. Bras. Ci. Solo*, 10:163-166, 1986.
- SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Sub-chefia de Estatística, Geografia e Informática. Atlas de Santa Catarina. Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro, 1986. 176p.
- SAWHNEY, B.L. Charge characteristics of soils as affected by phosphate sorption. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38:159-160, 1974.
- SETA, A.K. & KARATHANASIS, A.D. Water dispersible colloids and factors influencing their dispersibility from soil aggregates. *Geoderma*, 74:255-266, 1997.
- SIQUEIRA, C.; LEAL, J.R. & VELLOSO, A.C.X. Eletroquímica de solos tropicais de carga variável. II. Quantificação do efeito da matéria orgânica sobre o ponto de carga zero. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:13-17, 1990.
- SILVA, R.B.; LIMA, J.M. & DIAS JÚNIOR, M.S. Efeito da adsorção de fosfato em parâmetros físicos e na compressibilidade de solos tropicais. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:219-226, 1999.
- SPOSITO, G. *The chemistry of soils*. New York, Oxford University Press, 1989. 277p.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A. BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- UEHARA, G. & GILLMAN, G. *The mineralogy, chemistry and physics of tropical soils with variable charge clays*. Boulder, Westview Press, 1981. 170p.
- WANN, S.S. & UEHARA, G. Surface charge manipulation of constant surface potential soil colloids. I. Relation to sorbed phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:565-570, 1978.
- WESTERHOF, R.; BUURMAN, P.; van GRIETHUYSEN, C.; AYARZA, M.; VILELA, L. & ZECH, W. Aggregation studied by laser diffraction in relation to plowing and liming in the Cerrado region in Brazil. *Geoderma*, 90:277-290, 1999.