

A CALAGEM E AS PROPRIEDADES FÍSICAS DE SOLOS TROPICAIS: REVISÃO DE LITERATURA

THE LIMING AND THE PHYSICS PROPERTIES IN TROPICAL SOILS: A REVIEW

Renato de Mello Prado

Departamento de Solos e Adubos, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista

RESUMO

A calagem em solos tropicais é praticamente obrigatória, dado a elevada acidez desses solos. A calagem, além de afetar atributos químicos do solo, pode alterar as propriedades eletroquímicas e conseqüentemente as físicas, agregando ou desagregando o solo. Assim, o presente trabalho objetivou apresentar os resultados da literatura referente à importância da calagem e as suas implicações nas características físico-químicas e em processos erosivos e propor manejo adequado para condições tropicais. Pela revisão da literatura, observou-se que as alterações físico-químicas causadas pela calagem propiciam aos solos tropicais com cargas variáveis, ambiente favorável à dispersão de argila, o que, por meio da eluviação, torna possível a obstrução de poros em camadas inferiores, modificando o movimento de água no solo e até a erosão. A calagem em solos tropicais com PCZ baixo (próximo de 4), em que predomina a caulinita, eleva a carga líquida negativa e mesmo os com PCZ alto, em que predominam os óxidos de Fe e Al, reduzem o efeito floculante dos cátions trivalentes com maior espessura da dupla camada difusa, e, conseqüentemente, estes solos podem ficar suscetíveis à desagregação física. Portanto em solos altamente intemperizados desta natureza, a calagem deve ser moderada suficientemente para atingir o máximo valor pH (em CaCl₂) igual a 6 e saturação por bases de 80% e ainda, é oportuno manter sistemas de produção com alto aporte de resíduo orgânico, uma vez que a microbiota pode excretar no solo compostos orgânicos agregantes.

PALAVRAS-CHAVE: calcário, solo tropical, degradação do solo

INTRODUÇÃO

A aplicação da tecnologia na agricultura dentro do sistema de produção é uma realidade principalmente com a abertura de novos mercados através da globalização. Dentre as tecnologias disponíveis à agricultura, talvez o que promove maior retorno econômico é o calcário, pois, na região tropical, tem-se, com alta frequência, solos com reação ácida, que limitam o crescimento e produção da maioria das culturas comerciais.

Neste contexto, a prática da calagem passou a ser rotina dentro do sistema de produção em várias regiões agrícolas do Brasil Central. No entanto, ultimamente, vêm ocorrendo alguns problemas de supercalagem em algumas áreas em cultivo convencional ou conservacionista “plantio direto”. Em sistema convencional, tem-se a incorporação do calcário inadequadamente, com uso indiscriminado de grades aradoras “leves”, de forma superficial na camada de 0-10 cm de profundidade, fazendo com que esta camada receba o dobro do calcário recomendado. No sistema conservacionista, seja em sistema plantio direto seja em culturas perenes, onde não se incorpora o calcário, é utilizada dose para incorporação de 0-20 cm, entretanto aplicada superficialmente. Este excesso de calcário pode levar a diversos problemas de natureza química bem conhecidos, como a diminuição da disponibilidade de micronutrientes no solo e conseqüentemente desequilíbrio nutricional na planta. Além disso, tem-se outros efeitos pouco discutidos na literatura, como alteração nas propriedades eletroquímicas (carga líquida negativa e PCZ) do solo e a dispersão de argila (PEELE; BEALE; LATHAN, 1938; ELSON; LUTZ, 1940; BUTIERRES, 1980; ROSA JUNIOR, 1984; ALBUQUERQUE et al., 2000). Estas alterações nas propriedades eletroquímicas do solo originam mudanças nas cargas superficiais das partículas que influenciam diversos fenômenos no solo de natureza química como a biodisponibilidade e mobilidade de nutrientes e contaminantes nos solos e até as propriedades físicas, que poderão influenciar a agregação das partículas do solo e alterar o sistema poroso do solo, e a sua capacidade de armazenamento de água, o impedimento mecânico e podendo desencadear até a erosão do solo.

As conseqüências do processo de desagregação, como o impedimento ao crescimento das raízes e ao movimento de água, que acontecem tanto pelo encrostamento superficial, como pela compactação subsuperficial, é

considerada a maior limitação à produtividade das culturas em todo o mundo (HAMBLIN, 1985). A busca pelo aumento da produção das culturas torna-se importante pelo fato que as estimativas de aumento da população a longo prazo é maior (BOURLAUG, 1991).

O presente trabalho objetivou apresentar os resultados da literatura referente à importância da calagem e as suas implicações nas características físico-químicas e em processos erosivos e propor manejo adequado dos solos para condições tropicais.

REVISÃO DE LITERATURA

Importância da calagem

Em decorrência da reação química do material corretivo aplicado ao solo, têm-se as conhecidas alterações químicas no solo, como: aumento do valor pH, a neutralização do ferro e do alumínio trocável, a insolubilização do manganês, o fornecimento de cálcio e magnésio, as modificações da capacidade de troca catiônica efetiva, alteração da disponibilidade de micronutrientes entre outros efeitos (MALAVOLTA, 1981).

No Brasil, a prática da calagem faz-se presente em todos os quadrantes do País, principalmente nas áreas de maior atividade agrícola, normalmente áreas com o predomínio de Latossolos. Estes solos, em sua grande maioria, são ácidos, têm baixa saturação por bases e elevados teores de alumínio trocável, são muito profundos e têm estrutura granular pequena e, geralmente, forte; porém, oferecem boas produções quando sua fertilidade é corrigida.

Experimentos conduzidos no Estado de São Paulo evidenciam que os retornos sobre os investimentos com a calagem (3 t ha⁻¹) foram: no 1º ano, de 1,2/1 para o milho; 1,7/1 para a soja; e 2,0/1 para o algodão. Entretanto, no período de 5 anos para o milho, 3 anos para a soja e 4 anos para o algodão, a relação retorno/investimento atingiu, respectivamente: 21,0/1; 7,9/1 e 21,7/1 (RAIJ; QUAGGIO, 1984). Portanto, a calagem em condições tropicais, é prática importante para garantir taxas de retorno econômico aceitáveis para atividade agrícola, que permitem maior sustentabilidade da agricultura brasileira.

Com a expansão na região sob vegetação de Cerrados, caracterizada pelo uso intensivo de máquinas agrícolas, a predominância da monocultura de soja e milho e a supercalagem na camada superficial do solo (DENARDIN, 1984) têm afetado a qualidade física dos solos, causando sua degradação, além de efeitos como compactação, erosão, poluição de mananciais hídricos, etc. (FREITAS, 1992). A supercalagem também pode ocorrer em sistemas de produção conservacionistas, como sistema plantio direto ou cultivos com culturas perenes adultas, visto que tem sido utilizada a aplicação de calcário na superfície, sem a incorporação com grades ou arados; entretanto, a dose calculada é para incorporação na camada de 0-20 cm, portanto, tem-se normalmente uma supercalagem nos primeiros centímetros da superfície do solo.

Os efeitos da aplicação de calcário nas propriedades físico-químicas do solo podem alterar significativamente ou não as propriedades físicas do solo, em função da sua característica mineralógica e da dose de calcário aplicada. Deste modo, tomando-se como exemplo um solo da região do semi-árido, com predomínio de cátions monovalentes (Na⁺) ou um solo da região dos Cerrados, com predomínio de cátions trivalentes (Al³⁺), a calagem pode resultar em um efeito agregante e desagregante respectivamente, uma vez que, segundo Werwey e Overbeek, *apud* Koenigs (1961), o poder flocculante dos cátions, que predominam na solução do solo, aumenta de acordo com a seqüência: mono-di-trivalentes. Assim, estes autores complementam que para um mesmo efeito flocculante, nesta mesma ordem, as concentrações desses cátions guardam esta relação 1:(1/2)⁶:(1/3)⁶, que indica maior quantidade de um cátion bivalente para ocasionar o mesmo efeito de um cátion trivalente em menor quantidade. O ferro e, principalmente, o alumínio são cátions de grande poder flocculante; a inativação do ferro e alumínio trocável via calagem retira estes dois elementos dos sítios de adsorção, cedendo lugar ao cálcio, cujo poder flocculante é menor. As correlações negativas, obtidas para os teores de alumínio e ferro em relação à dispersão de argila em água, auxiliam na comprovação de tal fenômeno. Este conteúdo de argila do solo é facilmente determinado (EMBRAPA, 1979).

Neste sentido, Fassbender (1984) relatou que a flocculação depende da suscetibilidade do complexo de troca, das características da dupla camada difusa e dos cátions adsorvidos. Além da interferência da valência dos cátions na flocculação do solo, a dupla camada difusa tem grande influência sobre os fenômenos de flocculação e dispersão; a sua espessura é alterada pelas concentrações ou atividades iônicas na suspensão coloidal. Em ambientes de baixa concentração eletrolítica, a dupla camada difusa torna-se mais espessa, mantendo, dessa maneira, os colóides afastados e dispersos. O carbonato de cálcio tem efeito direto sobre o pH do solo; com a sua

elevação, ocorre a redução da atividade iônica do alumínio e do ferro, alterando, assim, o comportamento da dupla camada difusa.

Cabe salientar, ainda, que um dos fatores que determina a dispersão da argila é dada pela equação de Nerst, que é proporcional à diferença entre o PCZ e o pH em água do solo, denominada de afastamento (AFAS) (RAIJ; PEECH, 1972). O PCZ pode ser estimado segundo Keng (*apud* UEHARA, 1979), de acordo com a expressão: $pH_0 = 2 \text{ pH KCl} - \text{pH H}_2\text{O}$. Segundo Mitchell (1976) e Uehara (1979), para obter-se dispersão das argilas, é necessário que o pH do solo se encontre mais elevado do que o PCZ.

A calagem e o efeito de agregação do solo

Inicialmente serão apresentados alguns aspectos que abordam o efeito do cálcio com íon floculante, especialmente em solo sódico presente na região semi-árida do Nordeste brasileiro.

A presença de sódio no complexo de troca dos solos da região do semi-árido e árido é uma das principais causas da argila dispersa, que restringe as propriedades físicas destes solos (GOLDBERG; FORSTER, 1990).

A aplicação de sulfato de cálcio nesses solos melhora suas condições físicas. Esse efeito favorável é devido, basicamente, à substituição do sódio trocável pelo cálcio e, em seguida à lixiviação dos íons sódio. A medida que o cálcio substitui o Na^{+1} , através da reação de troca catiônica, tem-se predomínio do Ca^{+2} no complexo de troca e predomínio de cátions de maior valência e um aumento da concentração eletrolítica da solução e isto diminui a espessura da dupla camada, e conseqüentemente maior floculação do solo.

Chaves e Rolim (1997) analisaram o efeito do cálcio sobre a permeabilidade de um solo aluvial (argila=185 g kg^{-1}) da região semi-árida em laboratório, com as seguintes características: pH H_2O (1:2,5), 6,0; M.O., 26 g/kg; P, 96,6 mg/dm³; C.E., 0,20 mmhos/cm; e os cátions trocáveis em cmolc/kg, 0,05 de K; 0,18 de Na; 5,82 de Ca; 2,83 de Mg; 2,04 de H; 0,1 de Al. Em porções de 0,4 kg de solo, foram adicionados os tratamentos CaSO_4 , utilizando-se de 3, 6 e 9 cmol Ca kg^{-1} de solo, em seguida umedecidas (400 mL de água), homogeneizadas e deixadas secar. A taxa de percolação do lixiviado (mL h^{-1}) foi determinada e, no lixiviado, foi determinado o valor pH e CE. Antes e após a determinação da permeabilidade, foram analisados os seguintes parâmetros: pH em água e em KCl 1N, cátions trocáveis e a argila dispersa em água. Todos os tratamentos, em relação à testemunha, provocaram uma diminuição no teor de argila dispersa em água (Tabela 1).

Tabela 1 - Argila dispersa em água do solo após a incubação, antes da lixiviação, em função dos tratamentos (CHAVES; ROLIM, 1997)

	Ca (cmol _c / kg)			
Argila dispersa em água (%)	0	3	6	9
CaSO_4	6,82	3,49	3,40	2,29

Sabe-se que, quanto menor o afastamento, em valores absolutos, menor será a carga líquida negativa dos colóides, evitando, dessa maneira, repulsão eletrostática e, conseqüentemente, a dispersão de argila. Segundo Chaves e Rolim (1997), os resultados de argila dispersa em água, para os tratamentos com Ca, variaram da mesma forma que os resultados do afastamento provavelmente em conseqüência de os valores do afastamento não terem variado (Tabela 2). Os autores concluíram que a dose de 6 cmol Ca/kg seria a mais adequada.

Tabela 2 - Valores de pH em água, pH em KCl 1N, Δ pH, PCZ e o afastamento das amostras de terra antes/depois da lixiviação, em função dos tratamentos (CHAVES; ROLIM, 1997)

Parâmetros	Ca (cmol /kg)							
	0		3		6		9	
	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após	Antes	Após
pH H ₂ O	6,17 / 5,31		6,44 / 4,64		6,65 / 4,74		6,82 / 4,86	
pH KCl	4,46 / 4,74		5,19 / 4,53		5,40 / 4,61		5,54 / 4,71	
Δ pH	-1,71 / -0,57		-1,25 / -0,11		-1,25 / -0,13		-1,28 / -0,15	
PCZ	2,75 / 4,17		3,94 / 4,42		4,15 / 4,48		4,26 / 4,56	
Afastamento	3,42 / 1,14		2,50 / 0,22		2,50 / 0,26		2,56 / 0,30	

Calagem e o efeito de desagregação do solo

Os solos mais estudados para estudar a calagem e os fenômenos da desagregação, concentram-se na região do Brasil Central, não sódicos, com diferentes graus de intemperização.

Os efeitos do calcário e do fosfato de potássio no ponto de carga zero (PCZ) e grau de floculação foram estudados por Butierres (1980), em três solos do Rio Grande do Sul. Pelos resultados, o uso da calagem e do fosfato aumentou e diminuiu, respectivamente, o pH correspondente ao PCZ. O calcário e o fosfato diminuíram o grau de floculação da argila.

Rosa Júnior (1984) estudou, em função do tempo, as alterações em características físicas e químicas de um Latossolo Roxo Distrófico e de uma Terra Roxa Estruturada Eutrófica. Os resultados mostraram que, para os dois solos, houve tendência de alteração das características físicas, à medida que o tempo de uso aumentou. Avaliada através da densidade aparente, da distribuição de poros e da análise de agregados, a estrutura do solo tendeu a modifica-se com o tempo de uso, principalmente para o Latossolo Roxo Distrófico. Neste solo, os valores do grau de floculação decresceram com o aumento dos teores de cálcio e magnésio trocáveis nas camadas superficiais.

Gupta, Bhumbla e Abrol (1984) avaliaram a dispersão em solos e as relações com o efeito sódico, matéria orgânica e carbonato de cálcio. Pelos resultados, o aumento da alcalinidade ou da relação de adsorção de sódio (RAS) aumentou também a dispersão de argila. O carbonato de cálcio e alta concentração eletrolítica mostraram-se favoráveis à floculação. A elevação da alcalinidade na presença de substâncias húmicas aumentou a dispersão de argila.

Carvalho Júnior, Azevedo e Fontes (1995) avaliaram a influência da calagem, em condições de casa de vegetação, objetivando elevar o valor pH a 6,5 (nível 1), além da testemunha sem correção (nível 0), sobre o grau de floculação e a retenção de água, em função do aumento de cargas negativas em quatro solos: Podzólico Vermelho-Escuro - PE1 (PCZ=3,2; Ca=6 mmol_c dm⁻³ e argila=29%), Cambissolo - C (PCZ=3,7; Ca=22 mmol_c dm⁻³ e argila=19%); Podzólico Vermelho-Escuro - PE3 (PCZ=3,5; Ca=10 mmol_c dm⁻³ e argila=22%) e Latossolo Una - LU (PCZ=3,9; Ca=1 mmol_c dm⁻³ e argila=54%), em que o caráter do horizonte A é álico, eutrófico, álico e álico, respectivamente. Conforme mostra a Tabela 3, para o grau de floculação, observou-se que o solo 4 (LU) apresentou efeito significativo da calagem para os dois tempos de incubação. O Latossolo Una é o solo mais antigo dentre os estudados, com menor CTC inicial, maior saturação de alumínio (m) e predominantemente oxídico. Para o solo 2 (C), a calagem não afetou significativamente o grau de floculação em nenhum dos tempos. Entretanto, nota-se que o solo C apresenta menor grau de intemperismo, com maior CTC inicial, e saturação de alumínio (m) e com presença de minerais 2:1 (Ilita) na fração argila, além da caulinita. O solo 1 (PE1) apresentou significância apenas no tempo de 30 dias de incubação, já o solo 3 (PE3) no tempo de 60 dias, sendo que para este último, houve um aumento do grau de floculação com a calagem.

Tabela 3 - Aplicação de calcário em diferentes solos e as alterações no valor pH em água, CTC efetiva, grau de floculação, equivalente de umidade e retenção de Água a $-0,01$ e $-1,5$ Mpa, durante período de 30 e 60 dias de incubação.

Solo	Calagem	CTC efetiva		Grau de Floculação*	
	nível	30 dias	60 dias	30 dias	60 dias
		cmol./dm ³	cmol./dm ³	%	%
PE1	0	2,33	2,95	64	38
	1	5,53	5,39	48	38
	2	9,80	10,69	49	41
C	0	3,34	4,19	56	37
	1	5,49	6,34	56	37
	2	9,45	9,64	56	42
PE3	0	1,79	1,70	60	41
	1	3,30	3,22	63	41
	2	7,93	8,11	62	55
LU	0	0,75	0,53	60	65
	1	2,96	2,40	58	48
	2	7,28	6,86	48	35

* Grau de floculação é calculado pela expressão: (argila total - argila dispersa em água) / argila total

Estes resultados sugerem que os solos com PCZ semelhantes não afetaram a floculação das argilas, exceto aquele com maior saturação de alumínio, que se apresentou mais suscetível ao fenômeno de dispersão quando submetido à calagem.

Jucksch (1987) avaliou as implicações do uso de carbonato de cálcio na dispersão de argila de um Latossolo Vermelho-Escuro álico, textura argilosa. Para isso, utilizaram-se colunas constituídas de três anéis de PVC, com fundo furado, para a passagem do lixiviado. Os tratamentos foram: níveis de calagem, aplicados apenas nos dois anéis superiores e tendo como fonte o carbonato de cálcio p.a., na proporção de 0,0; 0,5; 1,0; 2,0 e 4,0 vezes a uma necessidade de calagem, e os três tempos de reação, quatro, oito e dezesseis semanas. As colunas receberam irrigações, por gotejamento, uma vez por semana. Pelos resultados, a calagem nos anéis superiores não influenciou a argila dispersa em água na quarta semana. Entretanto em oito e dezesseis semanas, os teores de argila dispersa tenderam a crescer até o nível 1,0 de calagem, voltando a diminuir em níveis maiores. Este comportamento mostra a importância do tempo influenciando no fenômeno estudado, além do efeito da calagem. Os valores de correlação obtidos para argila dispersa em água com Δ pH, magnésio, alumínio e ferro indicam que a dispersão do material do solo foi afetada pelos níveis de calagem. O comportamento do aumento das doses de calcário no aumento e posterior redução da argila dispersa em água, segundo o autor, é explicado inicialmente, pela neutralização dos cátions trivalentes, provocados pelas alterações químicas do carbonato de cálcio aplicado, e a atividade iônica desses cátions diminui, favorecendo a expansão da dupla camada difusa. E no segundo momento, com o aumento da concentração eletrolítica, conforme os níveis de calcário aplicado, os colóides mantiveram-se floculados, uma vez que tal aumento provoca compressão da dupla camada.

Já Albuquerque et al. (2000) não observaram essa alternância de aumento e diminuição da argila dispersa em água, em função da calagem, em solo com predominância da caulinita, uma vez que não houve aumento da concentração eletrolítica medida pela condutividade elétrica do solo com a calagem. Observaram ainda que o diâmetro médio ponderado não foi alterado pela calagem, embora tenha aumentado a argila dispersa em água. Isto, segundo os autores, foi compensado pelo aumento da atividade microbiana do solo.

Cabe salientar que o efeito benéfico da calagem, na diminuição da argila dispersa em água, pode ocorrer em solos com cargas permanentes, visto que nestes solos a geração de cargas negativas não é expressiva, entretanto, tem-se aumento da concentração eletrolítica e isto diminui a espessura da dupla camada (MUNNER; OADES, 1989).

Pela literatura, admite-se que a dispersão de argila em água decresce quando os valores absolutos PCZ-pH H₂O também decrescem. No entanto, apenas a elevação do pH, conforme os dados observados, pode não ser suficiente, se o ponto de carga zero acompanhar a elevação. Há necessidade, neste caso, de aumentar o pH e o afastamento para, assim, existirem suspensões estáveis ou dispersão de argila. Os estudos de correlações mostraram haver correlações positivas para o pH em água e para o afastamento com argila dispersa em água. Em seus estudos, Albuquerque et al. (2000) verificaram que a calagem na maior dose causou a dispersão da argila, e o aumento no PCZ foi menor (cerca de 13%), comparado ao aumento no valor pH (em água) que atingiu 40%.

Assim, solos com PCZ baixo já apresentam carga líquida negativa em valor de pH natural. Alguns Latossolos podem apresentar PCZ baixo, entre 3,6 e 4,6 (SPOSITO, 1989). Dentre os minerais a caulinita apresenta o menor valor do PCZ (4,6), comparado a gibbsita (5,1) e goethita (6,4) (VARADACHARI; CHATTOPADHYAY, 1981). Portanto, em solos com PCZ baixo, a calagem pode elevar com maior facilidade o valor pH e a diferença entre pH e PCZ e, conseqüentemente, o grau de afastamento e a dispersão da argila. Nestas condições, a dispersão da argila ocorre pela maior repulsão entre as partículas de solo pelo aumento da carga líquida negativa e da espessura da dupla camada elétrica difusa, ocasionada pela substituição do Al pelo Ca e Mg (FONTES et al., 1995).

Como medidas de controle da dispersão da argila e desestruturação em solos tropicais, é satisfatório admitir emprego de doses de calcário moderadas associado a técnicas que agregam o solo, como cultivo contínuo de plantas de cobertura (gramíneas ou leguminosas) em todo ano agrícola. Uma vez que existem evidências de que as raízes destas plantas aceleram a agregação, tanto pela liberação de exsudados orgânicos, como pela compressão das partículas e remoção de água, favorecendo a coesão das partículas do solo (PALMEIRA et al., 1999). E num segundo momento o material vegetal destas plantas, depositados continuamente serve como fonte de energia para os organismos do solo, cujos subprodutos, constituídos de moléculas orgânicas em diversas fases de decomposição, atuam como agentes de estabilização de agregados pelas ligações de polímeros orgânicos com superfície inorgânica por meio de cátions polivalentes (TISDALL; OADES, 1982).

A desagregação do solo e a erosão

As alterações na dispersão das argilas podem afetar algumas variáveis físicas importantes do solo, como taxa de infiltração e permeabilidade, em virtude da obstrução de poros em camada subsuperficial de material disperso ou desagregado, movimentado pela percolação (HALLSWORTH, 1963; HARIDASAN; CHIBBER, 1971), e isto ocasiona segundo Hudson (1977), a erosão vertical, que é ainda pouco conhecida e estudada, principalmente, em solos brasileiros. Além disso, o selamento superficial ou encrostamento no solo ocorre quando a água com colóides em suspensão infiltra no solo e tem-se a redução da condutividade hidráulica e maior suscetibilidade à erosão “horizontal” e, conseqüentemente, perdas de nutrientes e água do sistema de produção reduzindo a fertilidade do solo e o potencial produtivo da área agrícola (TAVARES FILHO, 1987).

Estudando os efeitos da calagem na erodibilidade de um solo Laterítico, Peele, Beale e Lathan (1938) descreveram que a aplicação de calcário ao solo, em condições de campo, reduziu a permeabilidade e provocou efeito dispersante em seus agregados, esperando, dessa maneira, um aumento na suscetibilidade do solo à erosão.

Segundo Elson e Lutz (1940) a melhor agregação do solo (Laterítico) pode ser melhor explicada pelo aumento dos ácidos húmicos do que pelos humatos de cálcio ou de magnésio. Ainda nesse estudo, os autores concluíram que houve decréscimo na agregação com a prática da calagem e com a aplicação de superfosfato. O efeito desagregador deste último foi atribuído pelos autores ao cálcio presente no fertilizante fosfatado.

Hallsworth (1963) estudou a eluviação da argila em função da variação do pH, utilizando colunas com misturas de areia e quantidade de argila (caulinita) a qual variou de 5 a 40%. Pelos resultados, o aumento do pH e o decréscimo da argila incrementaram a migração da argila na coluna de solo.

Ahmed, Swindale e El-Swaify (1969) avaliaram o efeito da adsorção de cátions nas propriedades físicas de dois solos tropicais constituídos predominantemente de caulinita e óxidos de ferro, e outros constituídos predominantemente de montmorilonita. A percentagem de agregados estáveis e a condutividade hidráulica foram afetadas pelos quatro cátions, na seguinte ordem: Ca = Mg > K > Na, e também houve efeito significativo do tipo de argila. Os autores comentaram ainda que o K apresentou efeito similar ao do Na, quanto às propriedades investigadas, sugerindo que uma aplicação pesada de adubos potássicos, sem uma calagem adequada, pode deteriorar a estrutura do solo. Utilizando os mesmos solos, El Swaify, Ahmed e Swindale (1970) determinaram o limite de liquidez, grau de dispersão e retenção de umidade em função da natureza dos cátions adicionados ao solo. As observações mostraram-se independentes da natureza da saturação de cátions para o solo com predomínio de

caulinita e óxidos de ferro. As mesmas três propriedades observadas para o solo, constituído predominantemente de montmolonita, foram dependentes do tipo de saturação de cátions, com o Na apresentando os maiores valores e o K, os menores. O Ca e o Mg tiveram valores iguais e intermediários entre o Na e o K.

Angulo (1983) verificou a falta de correlações significativas entre a erodibilidade e as propriedades químicas analisadas e que a agregação do solo, determinada pela estabilidade dos agregados em água, e a resistência ao impacto de gota foram as características que melhor se correlacionaram com a erodibilidade do solo.

Em pesquisas realizadas em alguns solos da Índia, Haridasan e Chibber (1971) estudaram os efeitos de propriedades físicas e químicas na erodibilidade dos solos. Os autores relatam que a taxa de erosão teve correlação negativa com a relação argila/(silte + areia total), percentagem de agregados >0,25 mm estáveis em água, cálcio trocável no solo e com a relação $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$.

Conforme discutido anteriormente, estes processos de desagregação do solo têm origem nas alterações eletroquímicas (PCZ, carga líquida negativa) e físicas (dispersão de argila, estabilidade de agregados) do solo, seja pela supercalagem seja mesmo pelos ciclos de umedecimento e secagem ou, ainda, segundo Centurion e Demattê (1985), pelo sistema de preparo intensivo do solo, que associados, têm afetado significativamente a estrutura do solo e, conseqüentemente, a sua densidade. Assim, estes fatores associados podem explicar a formação das camadas compactadas observadas em Latossolos cultivados, que levam estes solos a serem suscetíveis à erosão, mesmo com precipitação moderada.

CONCLUSÃO

Pelos resultados da literatura, observou-se que as alterações físico-químicas causadas pela calagem propiciam aos solos tropicais, com cargas variáveis, ambiente favorável à dispersão de argila o que, por meio da eluviação, torna possível a obstrução de poros em camadas inferiores, modificando o movimento de água no solo e até a erosão.

A calagem em solos tropicais com PCZ baixo (próximo de 4), em que predomina a caulinita, eleva a carga líquida negativa e mesmo os com PCZ alto, em que predominam os óxidos de Fe e Al, reduz o efeito flocculante dos cátions trivalentes com maior espessura da dupla camada difusa, e, conseqüentemente, estes solos podem ficar suscetíveis à desagregação física. Portanto, em solos altamente intemperizados desta natureza, a calagem deve ser moderada suficientemente para atingir o máximo valor pH (em CaCl_2) igual a 6 e saturação por bases de 80% e, ainda, é oportuno manter sistemas de produção com alto aporte de resíduo orgânico, uma vez que a microbiota pode excretar no solo compostos orgânicos agregantes.

ABSTRACT

The liming in tropical soil is practically obligatory, due to the rising acidity of these soils. The liming, besides affecting the chemical attributes, can modify the electrochemical properties and, consequently the physics ones, aggregating or disaggregating the soil. Thus, the present work aims to present the results of the referring literature to the importance of the liming and its implications in the physics-chemical characteristics and in the erosive process; it also considers the suitable handling under tropical conditions. In the review of the literature could be observed that the physics-chemical alterations caused by the liming give to the tropical soils with variable loads the favorable environment to the clay dispersion; it means, that by eluviations, it can be possible the blockage of pores in inferior layers, modifying the water movement in the soil and also the erosion. The liming in tropical soils with low PCZ (next to 4), where the caulinita predominates, raises the negative liquid load, and even the ones with high PCZ, where the Fe and Al oxides predominate, they reduce the trivalent flocculant effect of cations with bigger thickness of the double diffuse layer, and, consequently these soils can become susceptible to the physical disaggregating. Therefore, in highly weathered soils of this nature, the liming must be moderate to reach the maximum value pH (in CaCl_2) equal to 6 and the 80% of saturation basis, and it is important to keep the systems of production with high levels of organic residue, because of the micro biota can excrete organic composites in the soil.

KEY-WORDS: liming; tropical soil; soil disaggregating.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, S.; SWINDALE, L.D.; EL-SWAIFY, S. A Effects of adsorbed cation on physical properties of tropical red earths and tropical black earths. I. Plastic limit, percentage stable aggregates and hydraulic conductivity, *J. Soil Sci.*, n. 20, p. 255-268, 1969.
- ALBUQUERQUE, J. A. et al. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, n. 24, p. 295-300, 2000.
- ANGULO, J. R. Relações entre a erodibilidade e algumas propriedades de solo brasileiros. 1983. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1983.
- BOURLAUG, N. E. *Living history interview with*. Transnational Law & Contemporary Problems. v. 1, p. 538-554, 1991.
- BUTIERRES, M. F. M. Efeito do calcário e fosfato de potássio no ponto zero de carga (PCZ) e grau de flocculação em três solos do Rio Grande do Sul. 1980. 259 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, cap. 5, p. 232-245. 1980.
- CARVALHO JÚNIOR, I. A., AZEVEDO, E. C., FONTES, E. F. Efeito da calagem sobre a dispersão de argila e a retenção de umidade de quatro solos com diferentes características. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa. 1995. *Anais...* Viçosa : SBCS, 1995, p. 60-62.
- CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. *R. Bras. Ci. Solo*, n. 9, p. 263-266, 1985.
- CHAVES, L. H. G.; ROLIM, H. O. Efeito da aplicação de sulfato de alumínio e sulfato de cálcio sobre a permeabilidade de um solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. *Resumos Expandidos*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. (CD-ROM).
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 3.^a Aproximação. Belo Horizonte, EPAMIG, 1978. 80 p.
- DENARDIN, J. E. Manejo adequado do solo para áreas motomecanizadas. In: SIMPÓSIO DE MANEJO DO SOLO E PLANTIO DIRETO NO SUL DO BRASIL, 1. Passo Fundo, 1983. *Anais...* Passo Fundo : EMBRAPA/CNPT, Passo Fundo, 1984, p. 107-123.
- EL SWAIFY, S. A.; AHMED, S.; SWINDALE, L. D. Effects of adsorbed cations on physical properties of tropical red and tropical black earths. II. Liquid limit, degree of dispersion and moisture retention. *J. Soil Sci.*, n. 2, p. 188-198, 1970.
- ELSON, J.; LUTZ, J. F. Factors affecting aggregation of cecil soil and effect of aggregation on run-off and erosion. *Soil Sci.* n. 50, p. 265-275, 1940.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. n. p.
- FASSBENDER, H.W. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, IICA, 1984. 422 p.
- FONTES, M. P. F. et al. Calcium salts and mechanical stress effects on water-dispersible clay of Oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, n. 59, p. 224-227, 1995.

- FREITAS, P. L. Manejo físico do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1. Goiânia, 1992. *Anais...* Goiânia : Fundação Cargill, Campinas, 1992, p. 117-139.
- GOLDBERG, S.; FORSTER, H. S. Flocculation of reference clays and arid-zone soil clays. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, n. 54, p. 714-718, 1990.
- GUPTA, R. K. BHUMBLA, D. K.; ABROL, I. P. Effect of sodicity, pH, organic matter and calcium carbonate on the dispersion behavior of soils. *Soil Sci.*, n. 137, p. 245-51, 1984.
- HALLSWORTH, E. G. An examination of some factors affecting the movement of clay in an artificial soil. *J. Soil Sci.*, n. 14, p. 360-371, 1963.
- HAMBLIN, A. P. The influence of soil structure on water movement, crop root growth and water uptake. *Adv. Agron.*, v. 38, p. 95-158, 1985.
- HARIDASAN, M.; CHIBBER, R. K. Effect of physical and chemical properties on the erodibility of some soils of the Malwa Plateau. *J. Indian Soc. Soil Sci.*, n. 19, p. 293-298, 1971.
- HUDSON, N. *Soil conservation*. 2. ed. New York, Cornell University Press, 1977. 324 p.
- JACKSON, M. L. Soil chemical analysis. Madison, Advanced course, 1965. 896 p.
- JUCKSCH, I. M. S. *Calagem e Dispersão de Argila em Amostra de um Latossolo Vermelho-Escuro*. 1987. 40 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1987.
- KOENIGS, F. F. R. The mechanical stability of clay soil as influenced by the moisture conditions and some factors. Wageningen Hol Centrum voor Landbouwpublikaties en landbouwdocumentatie, 1961. 171 p.
- MALAVOLTA, E. Corretivos cálcicos, magnesianos e calco-magnesianos. In: MANUAL DE QUÍMICA AGRÍCOLA: adubos e adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 596 p.
- MITCHELL, J. K. *Fundamentals of soil behavior*. Berkeley, University of California: John Wiley, 1976. 422 p.
- MUNNER, M.; OADES, J. M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregates stability. I. Laboratory studies with ¹⁴C-glucose, CaCO₃ and CaSO₄.2H₂O. *Aust. J. Soil Res.*, n. 27, p. 389-399, 1989.
- PALMEIRA, P. R. T. et al. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 23, p. 189-195, 1999.
- PEELE, T. C.; BEALE, O. W.; LATHAM, E. E. Effect of lime and organic matter on the erodibility of cecil clay. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, n. 3, p. 289-295, 1938.
- RAIJ, B.; PEECH, M. Electrochemical properties of some oxisols and alfisols of the Tropics. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, n. 36, p. 587-593, 1972.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. Uso eficiente de calcário e gesso na agricultura. In: ESPINOZA, W.; OLIVEIRA, A. J. de (Ed) Anais do Simpósio sobre Fertilizantes na Agricultura Brasileira. Brasília, EMBRAPA-DEF, p. 323-346, 1984.

ROSA JUNIOR., E. J. *Efeito de sistema de manejo e tempo de uso sobre características físicas e químicas de dois solos no município de Ponta Porã*. 1984. 89 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1984.

SPOSITO, G. *The chemistry of soils*. New York: Oxford University Press, 1989. 277 p.

TAVARES FILHO, S. O papel das características e propriedades físicas nas perdas de solo-água e nutrientes por erosão devido ao cultivo do solo. *Semina*, n. 8, p. 42-44, 1987.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.*, v. 33, p. 141-163, 1982.

UEHARA, G. Mineralo-chemical properties of oxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 2., Malaysia, 1978. Bangkok; Soil Survey Division, Land Development Department, 1979. Part I, p. 45-60.

VARADACHARI, C.; CHATTOPADHYAY, T. *Complexation of humic substances with variable charge clays*. Boulder: Westview Press, 1981. 170 p.