EFEITO DE DOIS TIPOS DE CALCÁRIO EM ALGUNS ATRIBUTOS FÍSICOS
DE UM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO E DE UM PODZÓLICO
VERMELHO-AMARELO

ORLANDO MELO DE CASTRO

Engenheiro Agrônomo

Orientador: JÚLIO VASQUES FILHO

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA

ESTADO DE SÃO PAULO - BRASIL

FEVEREIRO - 1989

À memória de meu pai,
À minha mãe,
que não mediram sacrifícios para a
formação de seus filhos.

MINHA HOMENAGEM

Às minhas irmãs, esposa e filha, que
sempre acreditaram em mim.

DEDICO

A todos que, direta ou indiretamente,
colaboraram na realização deste traba
lho, expresso meus agradecimentos.

	Página
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1. Latossolo Vermelho-Escuro.....	20
4.1.1. Estabilidade de agregados.....	20
4.1.2. Densidade do solo e porosidade.....	29
4.1.3. Retenção de água.....	33
4.2. Podzólico Vermelho-Amarelo.....	39
4.2.1. Estabilidade de agregados.....	39
4.2.2. Densidade do solo e porosidade.....	46
4.2.3. Retenção de água.....	51
5. CONCLUSÕES.....	57
6. RECOMENDAÇÕES.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Página
01 Distribuição de agregados, por classe de tamanho, na profundidade 0-10cm em Latossolo Vermelho-Escuro.....	22
02 Distribuição de agregados por classe de tamanho, na profundidade 10-20cm em Latossolo Vermelho-Escuro.....	24
03 Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados no Latossolo Vermelho-Escuro nas duas profundidades. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário calcítico/dolomítico em t/ha.....	25
04 Argila dispersa em água no Latossolo Vermelho-Escuro nas duas profundidades. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário calcítico/dolomítico em t/ha.....	27
05 Densidade do solo no Latossolo Vermelho-Escuro nas duas profundidades. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário calcítico/dolomítico em t/ha.....	30

Figuras	Página
06 Distribuição de macroporos, microporos e porosidade total no Latossolo Vermelho-Escuro na profundidade de 5cm. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário calcítico/dolomítico em t/ha.....	31
07 Distribuição de macroporos, microporos e porosidade total no Latossolo Vermelho-Escuro na profundidade de 15cm. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário calcítico/dolomítico em t/ha.....	32
08 Curvas de retenção de água no Latossolo Vermelho-Escuro na profundidade de 5cm para os diferentes tratamentos de calcário calcítico/dolomítico.....	36
09 Curvas de retenção de água no Latossolo Vermelho-Escuro na profundidade de 15cm para os diferentes tratamentos de calcário calcítico/dolomítico.....	37
10 Distribuição de agregados, por classe de tamanho, na profundidade 0-10cm no Podzólico Vermelho-Amarelo.....	41

Figuras	Página
11 Distribuição de agregados, por classe de tamanho, na profundidade 10-20cm no Podzólico Vermelho-Amarelo.....	42
12 Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados no Podzólico Vermelho-Amarelo nas duas profundidades. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário calcítico/dolomítico em t/ha.....	43
13 Argila dispersa em água no Podzólico Vermelho-Amarelo nas duas profundidades. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário calcítico/dolomítico em t/ha.....	45
14 Densidade do solo no Podzólico Vermelho-Amarelo, nas duas profundidades. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário calcítico/dolomítico em t/ha.....	48
15 Distribuição de macroporos, microporos e porosidade total no Podzólico Vermelho-Amarelo na profundidade de 5cm. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário calcítico/dolomítico em t/ha.....	49

Figuras	Página
16 Distribuição de macroporos, microporos e porosidade total no Podzólico Vermelho-Amarelo na profundidade de 15cm. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário calcítico/dolomítico em t/ha.....	50
17 Curvas de retenção de água no Podzólico Vermelho-Amarelo na profundidade de 5cm para os diferentes tratamentos de calcário calcítico/dolomítico.....	54
18 Curvas de retenção de água no Podzólico Vermelho-Amarelo na profundidade de 15cm para os diferentes tratamentos de calcário calcítico/dolomítico.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Análise granulométrica dos solos estudados. Amostra coletada no local do experimento.....	14
2	Análise química do solo dos diferentes tratamentos no Latossolo Vermelho-Escuro de Limeira. Média de duas repetições.....	21
3	Correlação simples entre os valores de pH em água, pH em KCl, cálcio, magnésio, alumínio, soma de bases (S), carbono, saturação por bases (V%) e densidade do solo (Ds) com valores de estabilidade de agregados na classe 9,5-7,9mm, 7,9-6,3mm, diâmetro médio ponderado (DMP) e argila dispersa (AD), no Latossolo Vermelho-Escuro.....	34
4	Valores de θ_s , α , N, M, R^2 para as equações de ajuste das curvas de retenção de água dos diferentes tratamentos no Latossolo Vermelho-Escuro.....	35
5	Correlação simples entre os valores de cálcio, magnésio, alumínio, saturação por bases (V%) e densidade do solo (Ds), diâmetro médio ponderado (PDM) e argila dispersa (AD) com valores de umidade de saturação (U-sat.), umidade a 0,03 MPa (U-0,03) e umidade a 0,1 MPa (U-0,1), no Latossolo Vermelho-Escuro.....	38

Tabela

Página

6	Análise química do solo dos diferentes tratamentos no Podzólico Vermelho-Amarelo de Mococa. Média de duas repetições.....	40
7	Correlação simples entre os valores de pH em água, pH em KCl, cálcio, magnésio, alumínio, soma de bases (S), carbono, saturação por bases (V%) e densidade do solo (Ds) com valores de estabilidade de agregados na classe 9,5-7,9mm, 7,9-6,3mm, diâmetro médio ponderado (DMP) e argila dispersa (AD), no Podzólico Vermelho-Amarelo.....	47
8	Valores de θ_s , α , N, M e R^2 para as equações de ajuste de curvas de retenção de água dos diferentes tratamentos no Podzólico Vermelho-Amarelo.....	53
9	Correlação simples entre os valores de cálcio, magnésio, alumínio, saturação de bases (V%), densidade do solo (Ds), diâmetro médio ponderado (DMP) e argila dispersa (AD) com valores de umidade de saturação (U-sat.), umidade a 0,03 MPa (U-0,03) e umidade a 0,1 MPa (U-0,1), no Podzólico Vermelho-Amarelo.....	56

EFEITO DE DOIS TIPOS DE CALCÁRIO EM ALGUNS ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM
LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO E DE UM PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO

Autor: ORLANDO MELO DE CASTRO

Orientador: Prof. Dr. JÚLIO VASQUES FILHO

RESUMO

A calagem é prática comum da agricultura moderna, sendo seus efeitos químicos no solo bastante conhecidos. Mas os efeitos da calagem nas propriedades físicas do solo ainda são pouco conhecidos, ou pelo menos são contraditórias as informações a esse respeito. Objetivando contribuir para o esclarecimento dessa questão, avaliaram-se em dois experimentos com calagem, em condições de campo, num Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa em Limeira e num Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa em Mococa, os efeitos da calagem sobre a estabilidade de agregados, argila dispersa em água, porosidade e retenção de água. O material para estas determinações foi coletado em duas profundidades: 0-10cm e 10-20cm; três anos após a aplicação do calcário. Nos dois solos utilizou-se dois tipos de calcário, calcítico e dolomítico, nas doses de 0, 3 e 9t/ha e 0,2 e 4t/ha de cada calcário respectivamente no latossolo e no podzólico, perfazendo cinco tratamentos em cada solo: um testemunha

e duas doses para cada tipo de calcário. Os resultados revelaram a ocorrência de aumento na estabilidade de agregados com aumento da dose de calcário aplicada no Latossolo Vermelho-Escuro, acompanhado por aumento da densidade do solo e retenção de água. Obteve-se boa correlação linear entre o diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) e o teor de Ca^{2+} e aqueles índices influenciados pela calagem, como pH, soma de bases, saturação por bases e teor de Al^{3+} trocável. No Podzólico Vermelho-Amarelo os efeitos foram mais discretos, não se obtendo boa correlação entre índices de agregação e calagem. A densidade do solo e o DMP apresentaram correlação negativa com a umidade de saturação nos dois solos, sendo que o aumento destes índices de estabilidade significou um aumento na umidade retida a 0,03MPa e 0,1 MPa, com correlação significativa.

EFFECT OF TWO TYPES OF LIME ON THE SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES OF A RED
DARK LATOSOL AND A RED YELLOW PODZOLIC

Author: ORLANDO MELO DE CASTRO

Adviser: Prof. Dr. JÚLIO VASQUES FILHO

SUMMARY

Liming is a very important practice in modern agriculture, specially in acid soils such as the ones from the State of São Paulo, Brazil, where the chemical effects of liming are very well known. However, the effects of liming on soil physical properties are either not very well known or, at least, controversial. In order to verify, under field conditions, the effect of liming on some soil physical attributes, the aggregate stability, water dispersed clay, total porosity and soil water retention curve were evaluated in a liming experiment on a Red Dark Latosol, from Limeira-SP, clay texture and a Red Yellow Podzolic, from Mococa-SP, medium/ clay texture. The soil samples were collected in the depths of 0-10cm and 10-20cm, three years after the application of lime in the liming experiment which had two replications per treatment. Two kinds of lime were used, commonly known as calcitic and dolomitic limes, with application rates of 0, 3 and 9t/ha in the Latosol and 0, 2 and 4t/ha in the Podzolic, with a total of five treatments in

each soil, i.e., one control and two rates of application of each kind of lime. The results showed an increase in the aggregate stability for the Latosol with an increase of the bulk density and water retention as a result. As a consequence, a good linear correlation was found between aggregate mean weighted diameter (MWD) and calcium content and other indices affected by liming such as pH, sum of bases, base saturation and aluminium content. In the Podzolic soil the effects were not so evident, and a poor correlation was found between aggregate stability indices and liming. The bulk density and MWD showed significant negative correlation with moisture saturation in both soils, and an increase in the stability indices resulted in consequent increase in the water retained at 0.03 MPa and 0.1 MPa.

1. INTRODUÇÃO

A calagem é prática comum na agricultura moderna. Nos solos ácidos, com elevados teores de alumínio e manganês e/ou baixos teores de cálcio e magnésio, a ausência de tal prática frequentemente tem-se constituído em ponto de estrangulamento para obtenção de boas colheitas.

Por muito tempo usou-se, em nossas condições, o critério do teor de alumínio trocável para se determinar a quantidade de calcário a ser aplicada. Neste caso, colocava-se nos solos a quantidade de calcário suficiente para neutralizar o alumínio. Mais recentemente passou-se a determinar a necessidade de calcário com base na porcentagem de saturação por bases. Seguindo-se este método, as quantidades de calcário usadas chegam muitas vezes a ser maiores que o triplo daquelas preconizadas pelo teor de alumínio, com vantagens para as diversas culturas como consequência das alterações químicas provocadas no solo, como: aumento do pH, CTC, Ca^{2+} trocável, diminuição nos teores de Al^{3+} e Mn^{2+} tóxicos e alteração nas proporções de cátions básicos na CTC.

Se algumas alterações químicas que a calagem propicia são bem conhecidas, seu efeito nas propriedades físicas do solo não o são, ou pelo menos são contraditórias as informações a esse

respeito. Alguns autores (ELSON & LUTZ, 1940; BAVER, 1973; EL-SWAIFY, 1980), têm afirmado que a adição de cálcio em solos ácidos diminui a floculação das partículas de argila, o que conduz a hipótese de que a calagem seria mais uma prática a contribuir para a degradação dos solos. Este efeito negativo, poderia entretanto, ser compensado pelo efeito benéfico sobre a agregação, da incorporação de maior quantidade de resíduos culturais. Por outro lado, outros autores (GHANI et alii, 1955; CERQUEIRA, 1984; ROTH et alii, 1986), entendem existir um aumento na agregação do solo provocado pela adição de cálcio, com consequente aumento de infiltração, percolação e retenção de água.

É objetivo desse trabalho estudar, em condições de campo, as reações da estrutura do solo Latossolo Vermelho-Escuro e Podzólico Vermelho-Amarelo, provocadas pela adição de magnésio e/ou cálcio, através da avaliação da estabilidade de agregados, quantidade de argila dispersa, porosidade e retenção de água.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Efeitos da calagem sobre a matéria orgânica

A calagem tende, em geral, a promover maior desenvolvimento da vegetação, consequentemente resultando no aumento da quantidade de material orgânico nos solos. A correção da acidez pode conduzir ao desenvolvimento de condições físicas do solo mais favoráveis às plantas principalmente devido ao efeito indireto resultante do aumento da quantidade de resíduos vegetais, favorecendo também a atividade microbiológica no solo (COLEMAN et alii, 1958; McLEAN, 1971; BAVER et alii, 1973 e HUBBELL, 1971). Polissacarídeos originários do metabolismo e outros materiais similares são responsáveis em grande parte pela agregação do solo em condições de pH elevado (COLEMAN et alii, 1958).

2.2. Efeitos da calagem sobre agregação do solo

Estudando o efeito do Ca^{2+} na agregação do solo, BAVER et alii (1973) evidenciaram a diferença que existe entre os efeitos deste íon em solos alcalinos, onde predominam as relações Ca^{2+} e Na^{+} , e os efeitos em solos ácidos, onde a interação Ca^{2+} e H^{+} é dominante. No caso dos solos alcalinos, as más qualidades es-

truturais podem ser melhoradas se o Na^+ for substituído por Ca^{2+} , porém, encontra-se uma situação diferente quando se analisa os efeitos do Ca^{2+} na agregação dos solos ácidos. Segundo esses autores, investigações mais antigas, em geral, relatam a ocorrência de melhoria na agregação em resposta ao aumento na concentração de cálcio. Os mesmos autores entretanto, afirmam que observações experimentais indicam que o efeito do cálcio na agregação de solos ácidos não é tão importante como era comumente acreditado, mas têm sugerido que o cálcio pode influenciar indiretamente, através do seu efeito na matéria orgânica e atividade microbiana.

Por outro lado é inegável que a agregação do solo está intimamente relacionada com a natureza dos cátions trocáveis. Pode-se dizer que, de um modo geral, os cátions trocáveis irão influenciar a agregação do solo na medida em que afetam a floculação das argilas, o enlace entre a matéria orgânica e as partículas de argila e a produção e decomposição da matéria orgânica (CERQUEIRA, 1984).

Segundo BRADY (1979) a floculação das partículas de argila, mais especificamente, depende do pH e da natureza e concentração dos eletrólitos presentes na solução do solo. O abaixamento no pH ocasiona redução das cargas negativas das partículas de argila, o que favorece a aproximação entre as partículas e a floculação das mesmas. Por outro lado, elevação do pH ocasiona aumento das cargas negativas, aumento da repulsão entre as partículas e consequentemente aumento da dispersão. Quanto à natureza e concentração de eletrólitos, normalmente cátions polivalentes têm maior poder de flo

culação que os monovalentes e aumento na concentração de eletrólitos resulta em floculação, devida à compressão da dupla camada elétrica. Estas constatações entretanto, só se tornam possíveis quando se faz variar um dos três fatores, mantendo-se os outros dois constantes.

BAVER*,citado por BAVER et alii(1973), estudando o efeito da saturação com cálcio nas propriedades de uma argila coloidal, demonstrou que o cálcio teria que estar presente numa quantidade que excedesse a capacidade de saturação para produzir mais floculação que o hidrogênio. Referindo-se a relação existente entre o cálcio e o alumínio, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL**,citados por CERQUEIRA (1984), sugerem que em solos com alta saturação de cálcio ($\text{pH} > 7$) há pouca migração de argila dispersa, mas a medida que a concentração de cálcio diminui aumenta a dispersão das argilas, a qual diminui novamente quando é aumentada a acidez do solo ($\text{pH} < 5$), devido ao aumento na quantidade de alumínio trocável, que tem um poder de floculação maior que o cálcio.

Em revisão sobre a estrutura dos solos de carga variável,EL-SWAIFY (1980), evidencia as boas condições físicas dos Oxisols em estado original. Atribui isto, ao fato de que em valo-

*BAVER,L.D. The effect of the amount and nature of exchangeable cations on the structure of a colloidal clay. Missouri Agr. Exp. Sta. Research Bull. 129, 1929. Also Soil Sci., 29:291. 1930.

**SCHEFFER,F. & SCHACHTSCHABEL,P. Lehrbuch der bodenkunde. 9 ed. Stuttgart, Ferdinand Enke Verlag. p.292-294. 1979.

res naturais de pH a caulinita apresenta predomínio de cargas positivas. Esta coexistência de cargas negativas e positivas explica a forte tendência dos colóides flocularem. Sugere então, que a calagem ao aumentar as cargas negativas do solo poderá reduzir as ligações intra-agregados trazendo consequências danosas a estrutura do solo.

Avaliando o efeito do CaCO_3 , CaSO_4 e MgO na agregação de um solo laterítico após 4, 8, 12 e 16 semanas de incorporação, GHANI et alii (1955) observaram que adição de CaCO_3 promoveu tanto agregação como dispersão nos estágios iniciais, mas nos estágios finais a agregação prevaleceu e os agregados permaneceram mais ou menos estáveis. Observaram também que o CaSO_4 mostrou-se mais eficaz em promover a agregação que o CaCO_3 e este mais que o MgO . Segundo os autores isto deve estar relacionado com o fato de que o CaSO_4 , além de fornecer Ca^{2+} à solução do solo, abaixou o pH aumentando deste modo as cargas positivas na superfície coloidal e a concentração de eletrólitos na solução. Já ELSON & LUTZ (1940) encontraram que a adição de cálcio através de superfosfato, resultou em decréscimo da agregação do solo e sugerem que esse fato pode ser consequência da formação de humatos de Ca e Mg, que são agentes de agregação menos eficientes que os humatos de H, Fe e Al.

2.3. Efeitos da calagem na relação solo-água

Os efeitos da calagem na permeabilidade e limites de consistência também têm sido avaliados por alguns autores (SHANMUGA

NATHAN & OADES, 1983; RUSSEL & BASINSKI, 1954). SCHUFFELEN & MIDDELBURG (1954) trabalhando com solo laterítico de Java, verificaram que conforme o pH do solo ia sendo elevado até 7,0, por efeito da adição de pequenas doses de cálcio, a permeabilidade decrescia acentuadamente, mas que a partir de pH 7,5 ocorria um aumento acentuado da permeabilidade, resultando numa curva em U da permeabilidade sob influência de acréscimos de pH. Esse tipo de curva pode ser explicado pelo fato de os colóides do solo estarem "carregados" de íons OH^- em pH alto. O efeito peptizador dos íons OH^- é mais forte que o efeito coagulante dos íons Ca^{2+} . Os colóides do solo laterítico aparentemente são "descarregados" por íons Ca^{2+} antes que eles estejam com pH maior que 7,5, junto do qual vem um pequeno aumento da permeabilidade. VENEMA (1961) estudou caso similar em solos vermelhos de Java, observando acréscimos da permeabilidade a partir de pH 7,9.

Várias investigações têm sido feitas no sentido de determinar o efeito de diferentes tipos de cátions na agregação do solo. Neste sentido, LUTZ*, citado por PEELE (1936), medindo a permeabilidade à água de argilas saturadas com diferentes cátions, encontrou a seguinte ordem de permeabilidade: $\text{H}^+ > \text{Ba}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Li}^+$. MAZURAK (1953) estudando a agregação do solo "Hesperia

*LUTZ, J. F. The physico-chemical properties of soils affecting soil erosion. Mo. Agr. Expt. Sta. Res. Bull. 212. 1934.

sandy loam" da Califórnia, separou as partículas de solo com diâmetro menor que $0,15\mu$ e adicionou 0,1N de hidróxido de Cs, Li, Na, K, NH_4 , Ca e H até que a concentração simétrica dos cátions fosse 0,5 e 1,0. Feito isso, mediu o diâmetro médio geométrico dos agregados formados e verificou que este se alterou em função do cátion adicionado, decrescendo na seguinte ordem: $\text{H}^+ > \text{Cs}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Li}^+$. Estes dados conduzem à suposição de que solos onde o H^+ predomina no complexo de troca devem ser mais agregados e permeáveis do que aqueles onde o Ca^{2+} é o íon predominante. Levando em conta a estreita correlação que existe entre H^+ e acidez do solo, investigações realizadas por ANGULO (1983) reforçam esta suposição. Trabalhando com dez solos do Brasil, dentre os quais seis latossolos, com pH variando entre 4,3 e 6,0 esse autor verificou a existência de uma significativa correlação negativa entre pH em água e coeficiente de resistência dos agregados ao impacto de gotas d'água, indicando que o aumento na acidez do solo aumenta a estabilidade de agregados, sendo estas características as que melhor se correlacionaram com a erodibilidade do solo obtida por diferentes métodos.

O efeito da adsorção de cátions nas propriedades físicas de dois solostropicais foi estudado por AHMED et alii (1969) sendo um solo constituído predominantemente de caulinita e óxidos de ferro e outro constituído predominantemente de montmorilonita. Ambos os solos foram saturados com íons de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , ou com combinação deles. No solo com predominância de caulinita e óxido de ferro todos os tratamentos reduziram a porcentagem de agre-

gados estáveis em água e a condutividade hidráulica, em relação ao solo original, na seguinte ordem crescente: $Ca = Mg > K > Na$. Já no solo com predominância de montmorilonita houve aumento dos parâmetros medidos em relação ao solo original, sendo o efeito do $Ca = Mg > K > Na$. Segundo os autores, a redução na agregação do primeiro solo foi devida a dissolução pelos cátions das ligações intra-agregados e mudanças na concentração iônica na solução do solo e elevação do pH. Em pH menor que 7 os óxidos de ferro se ligam às cargas da caulinita dando estabilidade aos agregados. Se o pH aumenta, estas ligações se quebram resultando em menor estabilidade de agregados.

Utilizando os mesmos solos, EL-SWAIFY et alii (1970) determinaram os limites de liquidez, grau de dispersão e retenção de umidade em função da natureza dos cátions adicionados ao solo. No solo com predomínio de óxido de ferro e caulinita observou-se um aumento significativo no grau de dispersão e retenção de umidade em todos os tratamentos em relação ao solo não tratado, porém sem diferença entre eles. As mesmas três propriedades observadas para o solo constituído predominantemente de montmorilonita 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.

SIDIRAS et alii (1982), trabalhando com Latossolo Roxo do Paraná sob diferentes tipos de preparo, observaram uma boa correlação entre agregação e retenção de água, sendo que $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ elevaram a agregação do solo. Mas neste caso a densidade aparente

parecia influenciar mais a agregação do solo que os cátions trocáveis. VIEIRA & MUZILLI (1984) e CASTRO et alii (1987) observaram resultados semelhantes em outros latossolos sob diferentes sistemas de manejo do solo.

Em pesquisas realizadas em alguns solos da Índia, HA RIDASAN e CHIBBER (1971) estudaram os efeitos de propriedades físicas e químicas na erodibilidade dos solos. Os autores relataram que a taxa de erosão teve correlação negativa com a relação argila/(silte + areia total), porcentagem de agregados 0,25mm estáveis em água, porcentagem de cálcio trocável no solo e com a relação $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$. Comentam também que a estabilidade dos agregados representa importante papel no controle da infiltração de água no solo, principalmente após chuvas pesadas ou irrigação. Uma influência direta da dispersão das partículas do solo é a obstrução dos poros, reduzindo consideravelmente a infiltração. Em relação a este assunto, HUDSON (1977) chama a atenção ao que ele denomina de erosão vertical. O deslocamento de pequenas partículas, em razão da percolação da água no solo, pode provocar dois possíveis efeitos: a perda de partículas finas em um ponto e o aumento de partículas em outro ponto. Em solos de areia grossa, o deslocamento de colóides orgânicos e argila resultantes da erosão vertical pode reduzir a fertilidade e o efeito do material fino; em outro ponto, pode ser indesejável, quando o resultado é a formação de camadas menos permeáveis à água e raízes.

Dentro desta linha, MORELLI & FERREIRA (1987) traba

lhando com um Latossolo Roxo álico, epidistrófico, observaram redução na percolação de água no solo em função da desagregação dos agregados maiores por ação de CaCO_3 , mas observaram também que esta ação depende do teor de matéria orgânica. Quando esta era baixa prevaleceu o efeito direto do CaCO_3 de ordem eletroquímica, que aumentando a carga líquida negativa dos colóides, óxidos e caulinita, provocou um aumento da repulsão entre as partículas, com prejuízo para a estrutura. Quando o teor de matéria orgânica foi alto, prevaleceu o efeito indireto, consequência do aumento na atividade microbiana, que promove a agregação, melhorando a estrutura do solo.

ROTH et alii (1986) trabalhando em Latossolo Roxo distrófico sob cultivo de café, observaram aumento significativo na infiltração, determinada com chuva simulada, em tratamentos com calcário ou gesso aplicado superficialmente. Ao aumento da infiltração correspondem também um aumento na estabilidade de agregados, com correlação positiva entre esta e o pH, $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ e Ca^{2+} trocáveis e infiltração total.

Pelo exposto verifica-se que ainda existe controvérsia quanto ao efeito da calagem na estrutura do solo, com resultados mostrando seus efeitos benéficos e outros apresentando resultados que mostram efeitos danosos à estrutura, especialmente em relação a agregação. Mas apesar da calagem deprimir a agregação, alguns trabalhos mostram que este efeito depressivo poderá ser compensado pelo incremento da atividade microbiana, pela maior quantidade de

resíduos que retornarão ao solo e pelo melhor desenvolvimento radicular que esta prática promove.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material Utilizado

3.1.1. Área experimental

O experimento foi realizado utilizando-se amostras de dois ensaios de calagem instalados nas Estações Experimentais de Limeira e de Mococa, ambas do Instituto Agronômico. A Estação de Limeira está localizada na longitude 47°25' oeste e latitude 22°34' sul. Sua altitude é de aproximadamente 702m, possuindo uma área total de 198ha. A precipitação média anual é de 1378mm, sendo a temperatura média anual de 20,1°C. O tipo climático é Cwa, de acordo com o critério de Köppen. O solo do local do experimento é um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico textura argilosa (unidade Limeira), segundo OLIVEIRA E ROTTA (1973). A Estação de Mococa está localizada na longitude 47°01' oeste e latitude 21°28' sul. Sua altitude média é de 665m, possuindo uma área de 474ha. A precipitação média anual é de 1584mm, sendo a média anual de temperatura de 21,8°C. O tipo climático é Aw, de acordo com o critério de Köppen. O solo^{a/} do local do experimento é um Podzólico Vermelho-Amarelo^{a/} LEPSCH, I.F. (Seção de Pedologia do Instituto Agronômico, Campinas, SP). Comunicação pessoal, 1987.

lo textura média/argilosa. Em Limeira a cultura utilizada no experimento era citros, enquanto que em Mococa a cultura era soja em plantio convencional e pousio no inverno. A análise granulométrica dos solos em questão é apresentada na tabela 1.

Tabela 1. Análise granulométrica dos solos estudados. Amostra coletada no local do experimento.

Solo	Profun <u>d</u> idade	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	cm	%			
Latossolo Vermelho-Escuro	0 - 10	7	15	16	62
	10 - 20	7	15	15	63
Podzólico Vermelho-Amarelo	0 - 10	28	22	15	35
	10 - 20	29	18	14	39

3.1.2. Corretivos utilizados

Como corretivo, utilizaram-se calcários calcítico e dolomítico. Em Limeira o calcário calcítico apresentava 46,9% de CaO, 5,6% de MgO e PRNT = 80,7%, o dolomítico apresentava 26,9% de CaO, 19,8% de MgO e PRNT = 92,7%. Em Mococa o calcário calcítico apresentava 36,1% de CaO, 3,4% de MgO e PRNT = 73,1%; o dolomítico apresentava 24,4% de CaO; 17,4% de MgO e PRNT = 60,3%. Nos dois locais o calcário foi aplicado manualmente nas parcelas experimentais e in

corporado com arado de discos, três anos antes das amostragens para o presente estudo, utilizando-se as seguintes quantidades de calcário calcítico/dolomítico em t/ha:

LE = 0/0, 0/3, 0/9, 3/0, 9/0

PV = 0/0, 0/2, 0/4, 2/0, 4/0

As doses maiores aplicadas em cada solo objetivaram elevar a saturação por bases para 70%, conforme metodologia descrita por RAIJ et alii (1983).

No campo, cada tratamento, representado pelas doses de calcário, tinha duas repetições. Em Limeira as parcelas tinham 8 x 12m, cobrindo a área de dois pés de laranja. Em Mococa cada parcela tinha 6 x 8m, com 20 linhas de soja espaçadas de 0,60m. Em cada parcela coletaram-se duas amostras nas profundidades de 0-10cm e 10-20cm para as análises físicas e químicas.

3.2. Determinações

Coletaram-se em cada parcela de campo amostras de solo com estrutura deformada nas profundidades de 0 a 10cm e 10 a 20cm. Essas amostras foram utilizadas para as determinações químicas e de agregados estáveis em água. Coletaram-se no ponto médio dessas profundidades a mostras com estrutura indeformada em anéis volumétricos de 100cm³ para determinações de curva de retenção de água, densidade do solo e porosidade.

3.2.1. Determinações físicas

3.2.1.1. Distribuição do tamanho de agregados estáveis em água

As amostras de solo com estrutura deformada foram secas ao ar e posteriormente passadas através de tamis de 9,52mm e 4,00mm de malha, sendo que da fração retida neste último foram retiradas duas subamostras de 50g para peneiramento por via úmida em jogo de peneiras de 7,9; 6,3; 4,0; 2,0; 1,0 e 0,5mm de malha e agitador com amplitude de curso de 4cm, por 15 minutos. Em seguida os agregados retidos em cada peneira foram transferidos para copos de vidro e secos em estufa à 100-110°C por 24 horas. Com o peso seco dos agregados de cada fração foram calculadas as porcentagens respectivas em relação ao peso seco da amostra inicial. A distribuição do tamanho de agregados estáveis em água foi expressa pelo diâmetro médio ponderado - DMP (BAVEL, 1949).

O material que passou pela peneira de 4,00mm no preparo inicial das amostras, foi peneirado em tamis de 2,00mm de malha obtendo-se assim a TFSA para as análises químicas e de argila dispersa.

3.2.1.2. Argila dispersa em água

Da TFSA obtida, 10g foram transferidas para garrafa de Stohmann com 100ml de água destilada, para determinação de argila dispersa em água. Após 16 horas de agitação em agitador rotativo a 30rpm, a suspensão foi transferida para proveta calibrada e o

volume completado para 500ml com água destilada. A determinação de argila foi feita pelo método da pipeta, coletando-se 10ml a 5cm de profundidade, sendo o tempo de sedimentação calculado pela Lei de Stokes.

3.2.1.3. Determinação de retenção de água, densidade do solo e porosidade

As amostras, coletadas em anéis volumétricos de 100cm³, com gaze de "nylon" presa com elástico na parte inferior, foram colocadas em bandejas de plástico para saturação. Inicialmente colocou-se água até 1cm de altura para umedecimento lento das amostras, evitando-se assim rupturas internas e formação de poros bloqueados dentro das amostras. Quando a parte superior das amostras apresentou-se úmida, foi adicionada água nas bandejas até 0,5cm abaixo da borda superior dos anéis para completar a saturação. Após 24 horas, estando as amostras saturadas, foi feita a pesagem do conjunto, obtendo-se o peso saturado; em seguida as amostras foram colocadas em placas porosas, levadas para as câmaras de pressão e submetidas as seguintes pressões: 0,002; 0,006; 0,01; 0,03; 0,05; 0,07 e 0,1 MPa determinando-se o peso das amostras após equilíbrio nas pressões aplicadas. Após a última pesagem foram determinadas as taras dos conjuntos de gaze, elástico e anel metálico. Com o peso de solo seco em estufa a 100-110°C por 24 horas foram calculadas as umidades correspondentes a cada pressão aplicada e a densidade aparente. A porosidade total foi determinada pela umidade de satura-

ção. A partir da umidade correspondente a pressão de 0,006MPa(60cm de coluna de água) determinou-se a porcentagem de poros drenados até esta pressão, aqui chamados para fins práticos de macroporos. Ainda é muito discutível sob qual pressão deve-se calcular a macroporosidade, escolhemos a de 0,006 MPa por ser a mais utilizada.

3.2.2. Determinações químicas

O pH em água e o pH em KCl (solo: solução = 1:1) foram determinados utilizando-se eletrodo combinado. Os cátions trocáveis extraídos com acetato de amônio normal pH 7,0, cálcio, magnésio e potássio, foram determinados em espectrofotômetro de absorção atômica os dois primeiros, e o último em fotômetro de chama. Os teores de hidrogênio e acidez trocável em solução de KCl, e acidez potencial em solução de acetato de cálcio (CAMARGO et alii, 1986). O carbono orgânico foi determinado conforme o método de WALKLEY-BLACK, descrito por CAMARGO et alii (1986).

3.2.3. Análise dos resultados

Como no campo o experimento contava apenas com duas repetições por tratamento, a análise foi feita apenas por comparação entre tratamentos, sem aplicação de um método estatístico.

Calculou-se o coeficiente de correlação entre as variáveis químicas e índices de agregação e entre estes e umidade de saturação, umidade a 0,03MPa e 0,1MPa, estabelecendo-se o grau de significância dos coeficientes pelo teste t. Para a determinação do coeficiente de correlação fez-se correlação linear simples dentro de cada profundidade, com $n = 10$.

Para o ajuste da curva de retenção de água no solo utilizou-se o modelo descrito por GENUCHTEN & NIELSEN (1985). Este modelo segue a equação:

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s + \theta_r)}{[1 + (\alpha h)^N]^M}, \quad \text{onde:}$$

θ = umidade do solo (% vol.); θ_r = umidade residual ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$); θ_s = umidade de saturação ($\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$); α = inverso de h_v (valor de entrada de ar do solo, cm^{-1}); h = tensão de água no solo (cm) e N, M = parâmetros empíricos, sendo $M = 1 - N^{-1}$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Latossolo Vermelho-Escuro

Na Tabela 2 são apresentados os resultados de análise química do solo para as duas profundidades estudadas. Os resultados são médias de duas amostras sendo cada uma destas por sua vez, média de duas subamostras por parcela. Os dados mostram que as diferenças nos teores de cálcio e magnésio entre os dois calcários utilizados refletiu-se em diferenças nos teores desses elementos no solo, afetando de maneira semelhante os valores de parâmetros como pH, soma de bases (S), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%). Observa-se também uma diferença muito grande nestes parâmetros entre as duas profundidades, que teoricamente não deveria existir se se considerar que o calcário deve ser incorporado uniformemente pelo menos na camada de 0-20cm. Isto pode ter sido resultado de uma incorporação muito superficial, feita em área de cultura permanente, sem operações de preparo do solo subsequentes.

4.1.1. Estabilidade de agregados

A Figura 1 mostra a distribuição de agregados no Latossolo Vermelho-Escuro na profundidade de 0-10cm. Observa-se que todos

Tabela 2. Análise química do solo dos diferentes tratamentos no Latossolo Vermelho-Escuro de Limeira. Média de duas repetições.

Elemento	Profundidade cm	Tratamentos				
		0 / 0	0 / 3	0 / 9	3 / 0	9 / 0
C-%	0-10	1,9	1,7	1,8	2,0	1,8
	10-20	1,8	1,7	1,6	1,8	1,8
pH-H ₂ O	0-10	4,6	5,2	5,7	5,2	6,1
	10-20	4,1	4,6	5,0	4,5	5,2
pH-KCl	0-10	4,0	4,5	5,2	4,4	5,6
	10-20	3,8	4,0	4,5	4,0	4,6
Ca ²⁺ - meq/100g	0-10	0,7	1,8	3,9	2,6	5,6
	10-20	0,4	0,8	3,3	1,4	3,6
Mg ²⁺ - meq/100g	0-10	0,3	0,9	1,8	0,5	0,9
	10-20	0,2	0,5	0,8	0,3	0,6
K ⁺ -meq/100g	0-10	0,26	0,20	0,26	0,20	0,34
	10-20	0,08	0,05	0,05	0,06	0,09
S-meq/100g	0-10	1,26	2,19	5,96	3,30	6,84
	10-20	0,68	1,35	4,15	1,76	4,29
Al ³⁺ - meq/100g	0-10	1,2	0,3	0,0	0,3	0,0
	10-20	1,9	1,0	0,5	1,3	0,3
H ⁺ -meq/100g	0-10	5,6	4,3	3,3	5,1	2,4
	10-20	5,4	4,9	4,3	5,8	4,8
CTC-meq/100g	0-10	8,06	7,50	9,31	8,70	9,24
	10-20	7,98	7,25	8,95	7,56	9,39
V%	0-10	16	40	67	39	73
	10-20	9	19	46	20	45

CLASSES DE AGREGADOS - MM

Figura 1. Distribuição de agregados, por classe de tamanho, na profundidade 0-10cm em Latossolo Vermelho-Escuro.

os tratamentos que receberam calcário apresentam maior porcentagem de agregados que a testemunha nas duas maiores classes de agregados (9,5-7,9mm e 7,9-6,3mm). Na Figura 2, onde se tem a distribuição de agregados na profundidade de 10-20cm, observa-se a mesma tendência da camada mais superficial. Esta forte agregação observada neste solo, onde mais de 50% dos agregados tem tamanho superior a 4,0mm, é função também da não mobilização do solo, tendo em vista que estando sob cultivo de citros, o último preparo que este solo recebeu foi por ocasião da incorporação do calcário, três anos antes da amostragem. A Figura 3 nos dá uma idéia melhor da agregação deste solo. O DMP (diâmetro médio ponderado) é sempre superior nos tratamentos com calcário, nas duas profundidades. Enquanto que, na camada de 0-10cm o DMP na testemunha é de 3,9mm, nos tratamentos com dose de 3,0t/ha, ele sobe para 4,4 e 4,8, respectivamente para o dolomítico e calcítico. Quando a quantidade de calcário aplicada sobe para 9,0t/ha o DMP se eleva a 5,1 para o dolomítico e 5,8 para o calcítico. Na camada de 10-20cm de profundidade o DMP também aumenta na mesma proporção da camada superficial, nos tratamentos com calagem.

É claro pela Figura 3 que a tendência da calagem, independente do tipo de calcário, é aumentar a agregação do solo, tomando-se o DMP como índice de agregação. Este aumento é crescente com o aumento das doses de calcário aplicado.

A maioria das pesquisas sobre efeito da calagem na agregação tem sido feita em laboratório, com solos incubados com dife-

Figura 2. Distribuição de agregados por classe de tamanho, na profundidade 10-20cm em Latossolo Vermelho-Escuro.

Figura 3. Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados no Latossolo Vermelho-Escuro nas duas profundidades. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário calcítico/dolomítico em t/ha.

rentes quantidades de calcário ou outra fonte de Ca e Mg, trabalhando-se por períodos de no máximo 16 semanas, que é considerado o tempo ideal para reação do corretivo no solo. Nessas condições, esses trabalhos via de regra revelam um efeito depressivo da calagem sobre a agregação do solo, com aumento na dispersão de argila e quebra nas ligações intra e inter-agregados (AHMED et alii, 1969; EL-SWAIFY, 1970; ANGULO, 1983; MORELLI & FERREIRA, 1987).

Como o experimento foi realizado em campo, num sistema aberto, e as determinações feitas alguns anos após a calagem, os cá-tions em excesso podem ter sido lixiviados ou melhor absorvidos, prevalecendo o efeito agregante do Ca e Mg. Conforme relatado por GHANI et alii (1955) quando se aplica CaCO_3 no solo ocorre inicialmente agregação e dispersão nos estágios iniciais, prevalecendo a agregação depois de algum tempo (16 semanas no caso daquele trabalho). No caso presente portanto, houve tempo suficiente para reação e equilíbrio do sistema. Por outro lado, as quantidades de Ca e Mg adicionadas não teriam provocado um aumento tão drástico nas cargas negativas dos colóides de modo a reduzir as ligações intra-agregados, trazendo um decréscimo na agregação e aumento na dispersão, que normalmente ocorre em pH superior a 6,5. Conforme pode ser observado na Figura 4, a argila dispersa apresentou pequeno acréscimo na profundidade de 10-20cm dos tratamentos com calagem em relação a testemunha. Como na profundidade de 0-10cm houve um pequeno decréscimo na argila dispersa dos tratamentos com calagem em relação a testemunha, e como nesta profundida-

Figura 4. Argila dispersa em água no Latossolo Vermelho-Escuro nas duas profundidades. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário calcítico/dolomítico em t/ha.

de os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram sempre superiores, pode ter ocorrido uma dispersão na camada superficial, com transferência de argila para baixo, caracterizando a chamada erosão vertical, como definido por HUDSON (1977), o que teria contribuído para o aumento na argila dispersa na profundidade compreendida entre 10 e 20cm.

Ao se estabelecer a correlação linear entre índices de agregação e argila dispersa com os parâmetros químicos e densidade do solo (Tabela 3), verifica-se que na profundidade de 0-10cm o DMP apresenta um coeficiente de correlação significativo com o Ca^{2+} e com os parâmetros afetados diretamente pela calagem, como pH, soma de bases, saturação de bases e Al^{3+} , sendo que para este último a correlação foi negativa. Na profundidade de 10-20cm, observa-se a mesma tendência da camada superficial. Esses dados confirmam os resultados obtidos por CERQUEIRA (1984) e ROTH et alii (1986), ambos trabalhando em latossolos. O aumento de Ca^{2+} no solo permitiu um aumento na agregação, refletido no DMP das duas profundidades. O Mg^{2+} , presente somente no calcário dolomítico, não apresentou correlação com os índices de agregação, isto porque o calcário calcítico, sem Mg^{2+} , levou a índices de agregação similares ao dolomítico, para as mesmas doses, prejudicando a correlação. A argila dispersa não apresenta correlação com nenhum dos parâmetros testados, podendo-se dizer que os tratamentos com calagem não afetaram a dispersão da argila, pelo menos na época da amostragem.

4.1.2. Densidade do solo e porosidade

Os resultados de densidade do solo (Figura 5) na profundidade de 5cm mostram um aumento desse parâmetro nos tratamentos que recebem calagem, enquanto que na profundidade de 15cm, onde os valores de densidade do solo foram maiores ou iguais àqueles observados a 5cm para as mesmas doses de calcário, observa-se uma grande variação entre tratamentos, sem uma tendência que indique um efeito da calagem sobre este parâmetro de estrutura. Por outro lado, os valores obtidos para porosidade total, macroporosidade e microporosidade nas duas profundidades (Figuras 6 e 7), que são sabidamente afetados pela densidade do solo, não sofreram nenhuma alteração devida às doses de calcário utilizadas. Isso pode ser devido a metodologia utilizada para se determinar a distribuição de poros, via retenção de água a 0,006MPa. A determinação da porosidade pela densidade do solo e densidade da partícula poderia dar um resultado mais compatível com a densidade do solo. Por outro lado a maior estabilidade de agregados obtida pelo método de peneiramento por via úmida pode ser muito influenciada pela densidade do solo. É comum encontrar-se alto DMP em solos compactados, especialmente em áreas de cultivo anual (SIDIRAS et alii, 1982; VIEIRA E MUZILLI, 1984; CASTRO et alii, 1987). No presente caso pode ter havido influência da agregação na densidade do solo tendo em vista a correlação significativa entre agregados na classe 7,9-6,3mm e DMP com densidade do solo, na camada de 0-10cm (Tabela 3).

Figura 5. Densidade do solo no Latossolo Vermelho-Escuro nas duas profundidades. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário/dolomítico em t/ha.

Figura 6. Distribuição de macroporos, microporos e porosidade total em Latossolo Vermelho-Escuro na profundidade de 5cm. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário calcítico/dolomítico em t/ha.

Figura 7. Distribuição de macroporos, microporos e porosidade total no Latossolo Vermelho-Escuro na profundidade de 15cm. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário calcítico/dolomítico em t/ha.

4.1.3. Retenção de água

As curvas de retenção de água até 0,1 MPa foram ajustadas com o modelo de GENUCHTEN & NIELSEN (1985) para cada tratamento conforme a tabela 4. As curvas obtidas a partir das equações da tabela 4, para a profundidade de 5cm (Figura 8), revelam uma proximidade muito grande entre si, embora os tratamentos calados apresentem umidade sempre superior à testemunha para as mesmas tensões. Isto é resultado da melhor agregação e maior densidade do solo desses tratamentos. Esta influência cresce conforme aumenta a tensão aplicada, observando-se na tabela 5 que existe uma correlação altamente significativa entre umidade a 0,03 MPa e 0,1 MPa com DMP e densidade do solo. O mesmo se observa para o Ca^{2+} e parâmetros químicos que ele condiciona, como Al^{3+} e saturação de bases. Isto já era esperado, visto que é o Ca^{2+} que está influenciando a agregação do solo, e esta sua densidade. EL-SWAIFY et alii (1970) também observaram discreto aumento na retenção de água em solo com predominância de caulinita e óxido de ferro quando saturado com Na, K, Ca e Mg, atribuindo isto ao fato que os cátions em questão aumentaram a capacidade de retenção osmótica das argilas, aumentando a retenção de água no solo, conforme teoria desenvolvida e testada por EL-SWAIFY & HENDERSON (1967). Como naquele trabalho os tratamentos com cátions provocaram dispersão das argilas, com distribuição dos agregados, o aumento na retenção de água teve relação com a agregação, diferente do caso presente, onde ocorreu aumento na agre

Tabela 3. Correlação simples entre os valores de pH em água, pH em KCl, cálcio, magnésio, alumínio, soma de bases (S), carbono, saturação por bases (V%) e densidade do solo (Ds) com valores de estabilidade de agregados na classe 9,5-7,9mm, 7,9-6,3mm, diâmetro médio ponderado (DMP) e argila dispersa (AD), no Latossolo Vermelho-Escuro.

	Variáveis							
	pH H ₂ O	pH KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	S	C	V% Ds
0-10cm								
9,5-7,9	0,078	0,091	0,053	-0,083	0,245	0,047	0,214	-0,023 -0,330
7,9-6,3	0,336	0,278	0,298	-0,032	-0,484	0,243	0,432	0,287 0,766**
DMP	0,707*	0,663*	0,653*	0,251	-0,735**	0,619*	0,340	0,661* 0,753**
AD	-0,365	-0,299	-0,042	-0,152	0,355	-0,102	-0,374	-0,214 -0,077
10-20cm								
9,5-7,9	0,308	0,265	0,705*	0,321	-0,436	0,683*	0,151	0,656* 0,258
7,9-6,3	0,628*	0,636**	0,428	0,508	-0,711*	0,497	0,423	0,531 0,237
DMP	0,480	0,449	0,719*	0,470	-0,639*	0,726*	0,251	0,715* 0,034
AD	0,365	0,457	0,243	0,516	-0,354	0,317	-0,539	0,375 0,012

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste t.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste t.

Tabela 4. Valores de θ_s, α, N, M e R^2 para as equações de ajustes das curvas de retenção de água dos diferentes tratamentos no Latossolo Vermelho-Escuro

Tratamento	Profundidade	θ_s	α	N	M	R^2
	cm	$\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$	cm^{-1}			
0 - 0	5	57,4249	0,2181	1,1714	0,1463	0,9922
0 - 3	5	55,3286	0,2434	1,1447	0,1264	0,9955
0 - 9	5	58,2665	0,1394	1,1870	0,1575	0,9743
3 - 0	5	55,2970	0,2332	1,1389	0,1219	0,9902
9 - 0	5	51,7494	0,1616	1,1358	0,1196	0,9976
0 - 0	15	52,9791	0,1359	1,1483	0,1291	0,9796
0 - 3	15	48,9141	0,1966	1,1268	0,1125	0,9877
0 - 9	15	54,7929	0,0809	1,1817	0,1538	0,9769
3 - 0	15	52,8237	0,1333	1,1355	0,1193	0,9914
9 - 0	15	50,2503	0,0728	1,1445	0,1262	0,9806

Figura 8. Curvas de retenção de água no Latossolo Vermelho-Escuro na profundidade de 5cm para os diferentes tratamentos de calcário calcítico/dolomítico.

Figura 9. Curvas de retenção de água no Latossolo Vermelho-Escuro na profundidade de 15cm para os diferentes tratamentos de calcário calcítico/dolomítico.

Tabela 5. Correlação simples entre os valores de cálcio, magnésio, alumínio, saturação por bases (V%), densidade do solo (Ds), diâmetro médio ponderado (DMP) e argila dispersa (AD), com valores de umidade de saturação (U-sat.), umidade a 0,03 MPa (U-0,03) e umidade a 0,1 MPa (U-0,1), no Latossolo Vermelho-Escuro.

	Variáveis						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	V%	Ds	DMP	AD
0-10cm							
U-sat	-0,543	-0,093	0,363	-0,371	-0,501	-0,520	-0,103
U-0,03	0,735**	0,271	-0,815**	0,700*	0,930**	0,880**	-0,191
U-0,1	0,680*	0,230	-0,798**	0,644*	0,869**	0,792**	-0,237
10-20cm							
U-sat.	-0,105	0,473	-0,333	0,080	-0,487	-0,053	0,481
U-0,03	0,255	0,027	-0,159	0,211	0,078	0,328	-0,405
U-0,1	0,047	-0,057	-0,190	0,015	0,093	0,307	-0,218

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste t.

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste t.

gação e esta também teve influência no aumento da retenção de água nas tensões de 0,03MPa e 0,1MPa. SIDIRAS et alii (1982) também obtiveram ótima correlação entre agregação, Ca + Mg e retenção de água em Latossolo Roxo em diferentes sistemas de manejo do solo. Na profundidade de 15cm o efeito da calagem é menos expressivo, possivelmente porque os teores de cátions são menores que na camada superior (tabela 2), e por conseguinte também não se obteve correlação entre as unidades testadas com Ca^{2+} e PDM (tabela 5).

4.2. Podzólico Vermelho-Amarelo

Na tabela 6 são apresentados os resultados de análise química deste solo para as duas profundidades estudadas. Observando-se os resultados, verificou-se que a calagem promoveu um aumento do pH, CTC, S e V%, embora este último parâmetro não tenha atingido o nível de 70% esperado na dose máxima. Embora o teor de alumínio tenha caído com a calagem, este se apresentou em níveis altos para a dose 2t/ha, tanto no tratamento com calcário calcítico, como no dolomítico. Embora para este solo, diferentemente do Latossolo Vermelho-Escuro, o solo sofresse preparos periódicos por estar sob cultivo de soja, também se observa um gradiente acentuado entre as duas profundidades para os elementos analisados, o que pode ser devido a uma aração muito superficial.

4.2.1. Estabilidade de agregados

A Figura 10 apresenta a distribuição de agregados no Podzólico Vermelho-Amarelo na profundidade de 0-10cm. Ao contrário

Tabela 6. Análise química do solo dos diferentes tratamentos no Podzólico Vermelho-Amarelo de Mococa. Média de duas repetições.

Elemento	Profundidade cm	0 / 0	0 / 2	0 / 4	2 / 0	4 / 0
C - %	0 - 10	0,9	1,0	0,8	0,9	0,8
	10 - 20	0,8	1,1	0,8	0,8	0,8
pH-H ₂ O	0 - 10	4,6	5,0	5,4	5,1	5,7
	10 - 20	4,6	4,7	5,0	4,9	5,1
pH-KCl	0 - 10	4,0	4,3	4,7	4,4	5,2
	10 - 20	4,0	4,1	4,3	4,3	4,3
Ca ²⁺ -meq/100g	0 - 10	0,7	1,7	2,5	1,4	2,1
	10 - 20	1,0	1,2	1,4	1,2	1,8
Mg ²⁺ -meq/100g	0 - 10	0,2	0,5	0,9	0,3	0,4
	10 - 20	0,3	0,4	0,6	0,2	0,3
K ⁺ -meq/100g	0 - 10	0,28	0,24	0,32	0,33	0,32
	10 - 20	0,19	0,14	0,12	0,13	0,11
S-meq/100g	0 - 10	1,28	2,49	3,72	2,03	2,87
	10 - 20	1,49	1,84	2,12	1,58	2,27
Al ³⁺ -meq/100g	0 - 10	0,6	0,2	0,1	0,3	0,1
	10 - 20	0,6	0,3	0,2	0,6	0,3
H ⁺ -meq/100g	0 - 10	3,5	3,0	2,3	3,4	2,3
	10 - 20	3,0	2,8	2,9	2,8	2,7
CTC-meq/100g	0 - 10	5,43	5,69	6,07	5,73	5,22
	10 - 20	5,05	4,94	5,22	4,90	5,32
V - %	0 - 10	23	44	60	36	55
	10 - 20	30	37	40	31	41

Figura 10. Distribuição de agregados, por classe de tamanho, na profundidade 0-10cm no Podzólico Vermelho-Amarelo.

Figura 11. Distribuição de agregados, por classe de tamanho, na profundidade 10-20cm no Podzólico Vermelho-Amarelo.

Figura 12. Diâmetro médio ponderado (DMP) de agregados no Podzólico Vermelho-Amarelo, nas duas profundidades. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário calcítico/dolomítico em t/ha.

do que ocorre no Latossolo Vermelho-Escuro de Limeira, neste caso há um predomínio de pequenos agregados, na faixa de 1,0-0,5mm e menor que 0,5mm, não se observando nenhum efeito dos tratamentos na distribuição dos agregados. Na profundidade de 10-20cm (Figura 11), observa-se um discreto efeito da calagem na distribuição dos agregados representado por um aumento na porcentagem de agregados maiores. Tomando para análise o DMP (Figura 12) pode-se notar que realmente na profundidade entre 0 e 10cm somente o tratamento 4-0 apresentou um valor ligeiramente superior a testemunha, estando os demais com DMP muito baixo. Porém na profundidade 10-20cm todos os tratamentos com calagem apresentam DMP superior à testemunha na mesma profundidade, notadamente aqueles que receberam calcário dolomítico. A menor agregação no solo Podzólico, quando comparado com o Latossolo, se deve principalmente a movimentação periódica, que este solo recebe por ocasião do preparo, visto que está sob cultivo de soja. Isto impede a formação de agregados mais estáveis. Além disso a condição de menor teor de argila e maior teor de areia grossa confere menor estabilidade aos agregados. Esses fatores podem ter limitado a ação agregante dos cátions adicionados. Solos com baixo teor de argila dificilmente apresentam boa agregação, geralmente as partículas primárias ficam individualizadas mesmo sob condições favoráveis de manejo (CASTRO et alii, 1987).

Os teores de argila dispersa, que representam praticamente toda a argila das duas profundidades estudadas, apresentaram-se maiores apenas nos tratamentos 0-4 e 2-0, mas com uma diferença entre profundidades muito pequena (Figura 13).

Figura 13. Argila dispersa em água no Podzólico Vermelho-Amarelo nas duas profundidades. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário calcítico/dolomítico em t/ha.

Ao estudar-se a correlação linear entre índices de agregação e argila dispersa com parâmetros químicos e densidade do solo, não se verificou neste solo a ocorrência de correlação entre agregação e argila dispersa com cálcio, magnésio e índices influenciados pela calagem. A única correlação significativa foi aquela observada entre carbono e agregados da fração 9,5-7,9mm na profundidade de 10-20cm, (Tabela 7). O aumento do carbono no solo tende a aumentar a agregação, sendo seu efeito mais acentuado em solos onde o teor de argila é menor. O efeito benéfico do carbono, na agregação, já foi destacado por SIDIRAS et alii (1982), CERQUEIRA (1984) e MORELLI & FERREIRA (1987), principalmente pela ação do sistema radicular. Neste caso a calagem pode ter permitido um maior desenvolvimento do sistema radicular com benefícios para a agregação.

4.2.2. Densidade do solo e porosidade

A densidade do solo aumenta com aumento da dose de calcário aplicada na profundidade de 5cm, exceto para a dose 2t/ha do calcário dolomítico. Na profundidade de 15cm não há diferença quanto a densidade do solo entre os tratamentos com calagem e a testemunha. Apenas o tratamento que recebeu 2t/ha de calcário dolomítico apresenta valores um pouco abaixo dos demais (Figura 14). Por outro lado, a porosidade total, a macro e a microporosidades, nas duas profundidades, não foram afetadas pela calagem ou pela densidade do solo na camada mais superficial (Figuras 15 e 16). Como a agregação apresen

Tabela 7. Correlação simples entre os valores de pH em água, pH em KCl, cálcio, magnésio, alumínio, soma de bases (S), carbono, saturação por bases (V%) e densidade do solo (Ds) com valores de estabilidade de agregados na classe 9,5-7,9mm, 7,9-6,3mm, diâmetro médio ponderado (DMP) e argila dispersa (AD), no Podzólico Vermelho-Amarelo.

	pH _{H2O}	pH _{KCl}	Ca ²⁺	Variáveis				V%	Ds
				Mg ²⁺	Al ³⁺	S	C		
0 - 10cm									
9,5-7,9	-0,260	-0,183	-0,276	-0,173	0,372	-0,248	0,529	-0,251	0,306
7,9-6,3	0,378	0,356	0,425	0,412	-0,310	0,435	0,040	0,354	0,505
DMP	0,187	0,231	0,197	0,278	-0,059	0,231	0,257	0,183	0,539
AD	-0,130	-0,204	0,060	0,027	0,021	-0,041	0,447	-0,031	0,218
10 - 20cm									
9,5-7,9	-0,060	-0,027	-0,033	-0,150	0,287	-0,049	0,658*	-0,059	-0,035
7,9-6,3	0,270	0,330	0,490	-0,374	-0,122	0,338	0,174	0,373	-0,089
DMP	0,324	0,399	0,432	-0,170	-0,165	0,364	0,174	0,409	0,155
AD	0,421	0,568	0,400	0,153	-0,384	0,450	-0,126	0,573	0,547

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste t.

Figura 14. Densidade do solo no Podzólico Vermelho-Amarelo nas duas profundidades. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário calcítico/dolomítico em t/ha.

Figura 15. Distribuição de macroporos, microporos e porosidade total no Podzólico Vermelho-Amarelo na profundidade de 5cm. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário calcítico/dolomítico em t/ha.

Figura 16. Distribuição de macroporos, microporos e porosidade total no Podzólico Vermelho-Amarelo na profundidade de 15cm. Os números dos tratamentos correspondem as doses de calcário calcítico/dolomítico em t/ha.

tou pouca alteração neste solo por ação da calagem, pode-se esperar que a densidade do solo também não sofra mudanças expressivas. Como o efeito da calagem nas alterações de estrutura foram tão pequenas, não se obteve correlação satisfatória entre os índices de agregação e a densidade do solo (Tabela 7), sendo as variações de densidade na camada superficial devidas possivelmente à ação do preparo periódico do solo, mascarando o efeito dos agregados na estrutura do solo. Isto fica bem caracterizado no Latossolo Vermelho-Escuro de Limeira onde o não revolvimento periódico do solo permitiu que ficassem em evidência os efeitos da calagem sobre a agregação e os dela na estrutura do solo.

4.2.3. Retenção de água

Na Tabela 8 são apresentados os valores das variáveis para as equações que descrevem as curvas de retenção de água para os diferentes tratamentos no Podzólico. As curvas obtidas a partir das equações da Tabela 8, de acordo com modelo de GENUCHTEN & NIELSEN (1985), estão na Figura 17 e Figura 18, para as profundidades de 5cm e 15cm respectivamente. Na profundidade de 5cm há muita proximidade entre as curvas, com o tratamento 0-4 (4t/ha de calcário dolomítico), e a testemunha apresentando maior umidade retida. Na profundidade de 15cm o tratamento 0-4 (4t/ha de calcário dolomítico) se destaca, vindo a seguir o tratamento 2-0 (2t/ha de calcário calcítico), apresentando maior retenção de água que os demais. Por outro lado nesta camada a retenção de água é sempre superior que na camada superficial, possivelmente porque a densidade do solo é maior, fa-

zendo com que a água retida, nas tensões determinadas, seja maior. Na Tabela 9 observa-se que nas duas profundidades a densidade do solo apresenta uma correlação negativa com a umidade de saturação, o que é normal, pois maior densidade significa menos espaço poroso livre para saturação. Mas nas tensões de 0,03 MPa e 0,1 MPa, para a camada mais superficial, a correlação com densidade do solo é positiva, mostrando que o aumento deste resulta em aumento da retenção de água. Na profundidade de 15cm esta correlação não foi significativa. O PDM apresentou uma correlação negativa com umidade de saturação nas duas profundidades, mostrando que a capacidade de saturação do solo cai com o aumento dos agregados. Isto pode ocorrer se considerarmos que o aumento da estabilidade dos agregados se dá em função de uma estrutura mais forte, pelo aumento da densidade do solo.

Enquanto no Latossolo Vermelho-Escuro observa-se uma influência da calagem na retenção de água, mesmo por via indireta, atuando na agregação, no caso do Podzólico este efeito não é evidente. No caso há uma influência mais expressiva da densidade do solo, possivelmente por influência do preparo anual do solo e dos teores mais baixos de argila.

Tabela 8. Valores de θ_s , α , N , M e R^2 para as equações de ajuste das curvas de retenção de água dos diferentes tratamentos no Podzólico Vermelho-Amarelo.

Tratamento	Profundidade	θ_s	α	N	M	R^2
	cm	$\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$	cm^{-1}			
0 - 0	5	49,5136	0,3527	1,1359	0,1196	0,9971
0 - 2	5	50,2290	0,4878	1,1464	0,1277	0,9947
0 - 4	5	53,5471	1,3795	1,1190	0,1063	0,9931
2 - 0	5	55,0183	1,6659	1,1357	0,1148	0,9869
4 - 0	5	52,1403	0,7352	1,1393	0,1222	0,9979
0 - 0	15	49,8911	0,5814	1,1067	0,0964	0,9976
0 - 2	15	50,9343	0,9913	1,1052	0,0952	0,9849
0 - 4	15	50,6909	0,5834	1,0923	0,0845	0,9981
2 - 0	15	49,2333	0,9606	1,0906	0,0831	0,9945
4 - 0	15	48,7870	1,3199	1,0958	0,0874	0,9879

Figura 17. Curvas de retenção de água no Podzólico Vermelho-Amarelo na profundidade de 5cm para os diferentes tratamentos de calcário calcítico/dolomítico.

Figura 18. Curvas de retenção de água no Podzólico Vermelho-Amarelo na profundidade de 15cm para os diferentes tratamentos de calcário calcítico/dolomítico.

Tabela 9. Correlação simples entre os valores de cálcio, magnésio, alumínio, saturação de bases (V%), densidade do solo (Ds), diâmetro médio ponderado (DMP) e argila dispersa (AD) com valores de umidade de saturação (U-sat), umidade a 0,03 MPa (U-0,03) e umidade a 0,1MPa (U-0,1), no Podzólico Vermelho-Amarelo

	Variáveis						
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	V%	Ds	PDM	AD
0 - 10cm							
U-sat.	-0,067	-0,153	0,082	-0,135	-0,848**	-0,649*	-0,262
U-0,03	-0,245	-0,025	0,377	-0,291	0,623*	-0,020	-0,053
U-0,1	0,226	0,221	-0,105	0,126	0,618*	0,653*	0,152
10 - 20cm							
U-sat.	-0,202	0,213	0,076	-0,263	-0,602*	-0,683*	-0,502
U-0,03	0,184	0,259	-0,318	0,147	0,501	-0,186	-0,593
U-0,1	-0,052	0,376	-0,393	0,148	0,287	-0,020	-0,281

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste t.

**Significativo ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste t.

5. CONCLUSÕES

Nas condições em que o presente trabalho foi realizado, com os materiais e métodos empregados e em decorrência dos resultados obtidos, estabeleceu-se as seguintes conclusões:

- a aplicação do calcário, calcítico ou dolomítico, promoveu um aumento na estabilidade dos agregados do Latossolo Vermelho-Escuro. No Podzólico Vermelho-Amarelo a calagem não alterou a agregação, nas dosagens utilizadas.

- o Ca^{2+} mostrou-se ser mais atuante na agregação que o Mg^{2+} no Latossolo Vermelho-Escuro.

- a argila dispersa não foi alterada pela calagem nos dois solos estudados.

- no Latossolo Vermelho-Escuro o aumento do DMP e densidade do solo refletiu-se num aumento na retenção de água. No Podzólico Vermelho-Amarelo apenas o aumento da densidade do solo levou a aumentos na retenção de água.

6. RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos neste experimento e as muitas variáveis que influem num trabalho deste tipo no campo, sugerem algumas linhas de pesquisa que podem esclarecer parte das dúvidas ainda existentes sobre o efeito da calagem em propriedades físicas do solo.

Sendo a ação do corretivo no solo um processo dinâmico, a amostragem apenas num dado momento não reflete todo esse processo, que envolve desde dispersão até agregação. É imperativo portanto, que se faça um experimento com amostragens periódicas desde a aplicação do corretivo até que se atinja um período de estabilidade.

O preparo exerce uma influência muito grande nas alterações da estrutura do solo. Desse modo seria interessante um estudo que levasse em consideração, num mesmo solo, um tratamento com preparo periódico e outro que não sofresse preparo, simulando o plantio direto. Com isso seria possível analisar a interação preparo do solo e calagem sobre a estrutura do solo.

A estabilidade de agregados em água tem se mostrado ser um bom parâmetro para avaliar efeito de calagem na estrutura do solo, embora a agregação seja muito influenciada pela compactação do solo, mascarando um possível efeito da calagem. Para contornar este problema, métodos mais precisos devem ser desenvolvidos de modo que a agregação reflita apenas a influência de um ou outro fator.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, S.; SWINDALE, L.D.; EL-SWAIFY, S.A. Effects of adsorbed cations on physical properties of tropical red earths and tropical black earths. I. Plastic limit, percentage of stable aggregates and hydraulic conductivity. *J. Soil Sci.*, 20:225-268, 1969.
- ANGULO, J.A. *Relações entre a erodibilidade e algumas propriedades de solos brasileiros*. Curitiba, UFPR, 1983. 129p. (Dissertação de Mestrado)
- BAVEL, C.H.M. van. Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 14: 20-23, 1949.
- BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. *Física de suelos*. México, Centro Regional de Ayuda Técnica, 1973. p.78-242.
- BRADY, N.C. *Natureza e propriedades dos solos*. 5.ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1979. p.60-64.
- CAMARGO, O.A. de.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. e VALADARES, J.M.A.S. *Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas*. Instituto Agronômico, Campinas, 94p. 1986. (Boletim Técnico, 106)

- CASTRO,O.M. de.; CAMARGO,O.A. de.; VIEIRA,S.R.; DECHEN,S.C.F. e CANTARELLA,H. Caracterização química e física de dois latossolos em plantio direto e convencional. Campinas, Instituto Agronômico 1987. 23p. (Boletim Científico, 11)
- CERQUEIRA,R.R. Agregação de um Latossolo Vermelho Escuro em vários períodos de tempo em função da incorporação de palhas e da acidificação e calagem. Porto Alegre, UFRS, 1984. 74p. (Dissertação de Mestrado)
- COLEMAN,N.T.; KAMPRATH,E.J. & WEED,S.B. Liming. Adv. agron. 10: 475-522, 1958.
- ELSON,J. & LUTZ,J.F. Factors affecting aggregation of Cecil soils and effect of aggregation on run-off and erosion. Soil Sci., 50(3):265-275, 1940.
- EL-SWAIFY,S.A. Physical and mechanical properties of Oxisols. In: THENG,B.K.G., ed. Soil with variable charge. Lower Hutt. New Zeland Society of Soil Science, 1980. p.303-314.
- EL-SWAIFY,S.A.; AHMED,S. and 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., 21:188-198, 1970.
- EL-SWAIFY,S.A. and HENDERSON,D.W. Water retention of osmotic swelling of certain colloidal clays with varying ionic composition. J. Soil Sci., 18:1-10, 1967.

- GENUCHTEN, M. Th. van. & NIELSEN, D.R. On describing and predicting the hydraulic properties of unsaturated soils. *Annales Geophysicae*, 3(5):615-628, 1985.
- GHANI, M.O.; HASAN, K.A. & KHAN, M.F.A. Effect of lime on aggregation noncapillary pore space and permeability of a Lateritic soil. *Soil Sci.*, 80:469-478, 1955.
- 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.*, 19:293-298, 1971.
- HUBBELL, D.H. Microbiological effects from liming soil. *Soil and Crop Sci. Soc. Fla.*, 31:196-199, 1971.
- HUDSON, N. *Soil Conservation*. 2^a ed. New York, Cornell University Press, 1977. 324p.
- MAZURAK, A.P. Aggregation of colloidal clay from Hesperia sandy loam as affected by univalent and calcium ions. *Soil Sci.*, 76:181-189, 1953.
- McLEAN, E.O. Potentially beneficial effects from liming: chemical and physical. *Soil and Crop Sci. Fla.*, 31:189-196, 1971.
- MORELLI, M. e FERREIRA, E.B. Efeito do carbonato de cálcio e fosfato diamônico em propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 11(1):1-6, 1987.

OLIVEIRA, J.B. de. e ROTTA, C.L. Levantamento pedológico detalhado da Estação Experimental de Limeira. *Bragantia*, Campinas, 32:1-60, 1973.

PEELE, T.C. The effect of calcium on the erodibility of soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1:47-58, 1936.

RAIJ, B. van; CAMARGO, O.A. de.; CANTARELLA, H. e SILVA, N.M. de. Alumínio trocável e saturação em bases como critérios para recomendação de calagem. *Bragantia*, Campinas, 42:149-156, 1983.

ROTH, C.H.; PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; MEYER, B. e FREDE, H.G. Efeitos das aplicações de calcário e gesso sobre a estabilidade de agregados e infiltrabilidade de água em um Latossolo Roxo cultivado com cafeeiros. *R. bras. Ci. Solo*, Campinas, 10(2):163-166, 1986.

RUSSELL, E.W. & BASINSKI, I.J. The effect of heavy dressings of calcium salts on the consistency of clay soils and subsoils. In: INTERNATIONAL CONGRESS SOIL SCIENCE, *Transactions*, 5, p.166-173, 1954.

SCHUFFELEN, A.C. & MIDDELBURG, H.A. Structural deteriorations of lateritic soils through liming. In: INTERNATIONAL CONGRESS SOIL SCIENCE, *Transactions*, p.158-165, 1954.

- SHANMUGANATHAN,R.T. & OADES,J.M. Modification of soil physical properties by addition of calcium compounds. *Aust. J. Soil Res.* 21:285-300, 1983.
- SIDIRAS,N.; HENKLAIN,J.C. & DERPSCH,R. Comparison of three different tillage systems with respect to aggregate stability,the soil and water conservation, and the yields of soybean and wheat on an Oxisol. In: THE CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL SOIL TILLAGE RESEARCH ORGANIZATION, ISTRO, 9., Osjek, Yugoslavia, 1982. p.537-544. (Londrina, IAPAR, Contribuição, 53)
- VENEMA,K.C.W. Some notes on pH, lime status, lime requeriment and liming of sub-tropical and tropical soils. *Potash Review*, Subject 5:16th e 17th Suites. 1961.
- VIEIRA,M.J. e MUZILLI,O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. *Pesq. agroepc. bras.*, Brasília, 19:873-882, 1984.