

ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS RELACIONADOS COM A ESTABILIDADE DE AGREGADOS DE DOIS LATOSSOLOS EM PLANTIO DIRETO NO ESTADO DE SÃO PAULO⁽¹⁾

**G. DUFRANC⁽²⁾, S. C. F. DECHEN⁽³⁾,
S. S. FREITAS⁽³⁾ & O. A. CAMARGO⁽⁴⁾**

RESUMO

Com o objetivo de verificar a influência de atributos físicos, químicos e biológicos na estabilidade de agregados em água de dois Latossolos sob plantio direto há mais de quatro anos, foi amostrada a camada de 0-10 cm de duas áreas, utilizando uma grade de amostragem de 100 m entre pontos, georreferenciados com DGPS. Uma das áreas está localizada no município de Campos Novos Paulista, SP (22 ° 36 ' 11 " latitude e 50 ° 00 ' 09 " longitude) em um Latossolo Vermelho distrófico típico álico textura média A moderado (LVd-CNP), e a outra se localiza no município de Angatuba, SP (23 ° 29 ' 23 " latitude e 48 ° 24 ' 46 " longitude), em Latossolo Vermelho distrófico típico álico textura argilosa A moderado (LVd-Anga). Os valores do diâmetro médio ponderado (DMP) e dos atributos físicos, químicos e biológicos foram analisados mediante regressões lineares múltiplas, em pré-tratamentos com água, álcool e benzeno. Os resultados mostraram que a matéria orgânica, a comunidade bacteriana e os teores de Fe, de K e de argila foram os principais agentes agregantes. Em áreas com baixos teores de argila e altos teores de areia fina, baixos índices de estabilidade foram encontrados. Mesmo estando sob plantio direto há mais de quatro anos, o LVd-CNP mostrou índices de estabilidade de agregados muito baixos, graças, principalmente, ao seu alto conteúdo de areia fina. Em relação ao LVd-CNP, o LVd-Anga apresentou índices de agregação mais elevados, principalmente por causa do alto teor de argila e maior quantidade de matéria orgânica.

Termos de indexação: sistemas de preparo do solo, física do solo, fertilidade do solo, microbiota do solo, pré-tratamento.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada na III International Conference on Land Degradation and Meeting of the International Union of Soil Sciences - Subcommission C, Rio de Janeiro (RJ), de 17 a 21 de setembro de 2001. Recebido para publicação em dezembro de 2001 e aprovado em maio de 2004.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agrônomo – IAC. Caixa Postal 28. CEP 13020-902 Campinas (SP). Bolsista FAPESP. E-mail: guidodufuran@yahoo.com.br

⁽³⁾ Pesquisadora Científica do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais, IAC. E-mail: dechen@iac.sp.gov.br; sfreitas@iac.sp.gov.br

⁽⁴⁾ Pesquisador Científico do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais, IAC. Bolsista CNPq. E-mail: ocamargo@iac.sp.gov.br

SUMMARY: *PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL SOIL ATTRIBUTES RELATED TO AGGREGATE STABILITY OF TWO OXISOLS UNDER NO-TILLAGE IN THE STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL*

The effect of physical, chemical and biological soil attributes on the stability of wet aggregates of two Oxisols cultivated with annual crops under no tillage for over four years was evaluated. Soils samples were collected in the 0-10 cm layer of two areas in a 100 m square grid marked with a DGPS. One of the areas is located in Campos Novos Paulista county, SP, Brazil (22° 36' 11" latitude and 50° 00' 09" longitude) on a sandy loam Oxisol. The other area is in Angatuba county, SP, Brazil (23° 29' 23" latitude and 48° 24' 46" longitude) on a clayey Oxisol. Multiple linear regression analysis was carried out for the mean weighted diameter (MWD) results and soil attributes according to the pre-treatments methods (water, alcohol and benzene) and aggregation agents. The results showed that the organic matter content, bacterial community, iron, potassium, and clay content were the most important parameters for soil aggregation. In areas with low clay and high fine sand content it was found low stability indexes. Even though the sandy loam Oxisol has been under no-tillage for over four years, it presented low stability indexes, mainly because of the low clay and high fine sand content. The clayey Oxisol showed higher aggregate stability compared to the sandy loam Oxisol, mainly because of its higher clay and organic matter content.

Index terms: soil tillage systems, soil physics, soil fertility, soil biology, pre-treatment.

INTRODUÇÃO

Agregados do solo podem ser definidos como "uma união natural ou grupo de partículas nas quais as forças que mantêm os colóides juntos são muito mais fortes que entre agregados adjacentes" (Martin et al., 1955). O estado de agregação do solo é de grande importância para as atividades agrícolas, uma vez que está relacionado com a aeração do solo, desenvolvimento radicular, suprimento de nutrientes, resistência mecânica do solo à penetração, retenção e armazenamento de água (Kohnke, 1968). Solos de boa estabilidade estrutural estão menos sujeitos à compactação e à erosão (Russel, 1973). Os atributos do solo que determinam a estabilidade estrutural estão ligados à textura, à mineralogia das argilas, à matéria orgânica, ao material inorgânico não-cristalino, à composição de fluidos do meio poroso, às plantas e organismos do solo e à profundidade do perfil do solo (Kay & Angers, 1999).

A matéria orgânica age como condicionador do solo mediante sua estrutura complexa e longas cadeias de carbono, agregando partículas minerais. Além das estruturas complexas, a maior parte da matéria orgânica do solo é pouco molhável, protegendo os agregados contra o umedecimento e quebra (Hénin et al., 1976). Sabe-se que a maior parte da fração orgânica no solo é estável e chamada de fração húmica (Fassbender, 1980), que irá formar agregados estáveis e persistentes no solo (Tisdal & Oades, 1982).

A importância das frações orgânicas na agregação do solo tem sido amplamente comprovada por meio de correlações entre as frações e os índices de agregação, pelo efeito do pré-tratamento com periodato, do qual resulta a oxidação de polímeros e diminuição da estabilidade de agregados, e por mudanças na estabilidade de agregados em relação à fração extraível de carbono em solos incubados (Degens, 1997). Muitos autores citam a importância de sistemas de manejo do solo que visam ao menor tráfego de máquinas, menor revolvimento do solo e aumento do teor de carbono orgânico (CO), como o plantio direto e o pousio, como medidas para recuperar as propriedades físicas do solo (Campos et al., 1995; Castro Filho et al., 1998; Silva & Mielniczuk, 1997).

Bactérias e fungos são capazes de unir a fração mineral do solo em agregados estáveis, porém cada microrganismo tem uma eficiência específica quando se trata de agregar partículas (Harris et al., 1966). Guggenberger et al. (1999) verificaram que o crescimento da comunidade fúngica proporcionado pela adição de fontes de energia levou à aproximação de partículas primárias por enlaces de hifas que formaram agregados. Dados semelhantes foram encontrados por Molohe et al. (1987), que também verificaram que, quando a comunidade bacteriana cresce, há decréscimo da comunidade fúngica. Degens et al. (1994) observaram que a presença de hifas num solo arenoso não foi suficiente para promover estabilização significativa de agregados. A importância dos microrganismos está relacionada

com o efeito adesivo de polissacarídeos extracelulares provindos de hifas e de bactérias, que diminuem a destruição de agregados por aumentar sua resistência ao umedecimento (Guggenberger et al., 1999), ou de "colas" provenientes de resíduos orgânicos adsorvidos à fração argila (Hart et al., 1988, citados por Degens et al., 1994).

Das três classes de partículas primárias do solo, a argila é o fator mais importante para a estabilidade de agregados (Russel, 1973). A fração argila exerce domínio sobre o comportamento do solo em virtude de sua pequena dimensão, o que aumenta de maneira significativa sua superfície específica, e da presença de cargas negativas permanentes. Mbagwu et al. (1993) verificaram que solos com grandes quantidades de areia fina e silte dispersam-se facilmente e que solos com boa estabilidade de agregados estão relacionados com a soma dos teores de argila e areia grossa, bem como a estabilidade de agregados tem relação com o teor de argila e areia grossa. Assim, supõe-se que partículas de areia grossa tenham microlocais favoráveis à deposição, principalmente, de polissacarídeos que se unem aos minerais de argila por pontes de cátions com elevado poder de absorção de água e diminuição de seu potencial energético. Dentre esses cátions está, por exemplo, o Fe. Pode ser que a areia grossa, em seu perímetro, tenha grande número de arestas com altas concentrações de cargas e possibilidade de adsorver cátions, minerais de argila e materiais orgânicos, agregando partículas.

Já Boix-Fayos et al. (2001) observaram que apenas a fração argila se correlacionava positivamente com os índices de agregação do solo. Segundo Dutartre et al. (1993), a fração areia somente formou agregados, quando suas partículas estavam "cimentadas" por microagregados de origem orgânica ou mineral.

A importância da argila e da matéria orgânica na estabilização dos agregados freqüentemente sobrepõe-se à dos cátions. De acordo com o modelo proposto por Edwards & Bremer (1967), cátions polivalentes são cruciais para unir a fração orgânica e os minerais de argila. Sem essa união, as frações argila e orgânica dispersam-se, pois ambas têm cargas negativas permanentes. Os cátions trocáveis do solo influenciam o processo de agregação, de acordo com a série liotrópica da química coloidal (Arena, 1968).

Quando uma partícula seca de argila é umedecida com água, há interação entre as moléculas de água e a superfície das argilas. Algumas moléculas de água são adsorvidas pela superfície das argilas por pontes de hidrogênio e outras moléculas de água são adsorvidas por íons. Assim ocorre a hidratação de íons, que resulta, em alguns casos, na dissociação de íons e argilas. Os cátions têm maior capacidade de adsorção de água - e, conseqüentemente, maior resistência à dispersão - de acordo com seu número

de cargas e tamanho. Quanto mais cargas, menor o tamanho do cátion, ou seja, quanto maior a densidade de cargas, maior a resistência à dispersão (Russel, 1973). A resistência à dispersão também é influenciada pelo diâmetro do cátion hidratado, isto é, quanto menor o diâmetro, menor a probabilidade de dispersão, porque cátions hidratados de menor diâmetro são adsorvidos com maior força pela superfície das argilas (Rengasamy et al., 1986).

Dos quatro cátions encontrados em maior quantidade no solo (Ca, Mg, K, Na), o efeito do K trocável nas propriedades físicas e hidráulicas é talvez o menos esclarecido, diante das divergências de resultados de pesquisa (Levy & Torrento, 1995). Camargo et al. (1983) verificaram que o aumento da saturação por K no solo, aliado ao teor de CO₂, aumentou a estabilidade dos agregados. Ceconi et al. (1963) e Ravina (1973), citados por Levy & Torrento (1995), constataram que solos saturados por K tinham mais agregados estáveis, quando comparados a solos saturados por Ca.

No entanto, Russel (1973) mediu a quantidade de calor liberada no processo de umedecimento de argila e verificou que solos saturados por Ca liberavam em torno de 200J/100 g para cada milimol de Ca trocável e, naqueles saturados por K, apenas 60J/100 g para cada milimol de K. Levy & Torrento (1995) verificaram que o K, nas concentrações de 1,5 % a aproximadamente 10 %, agiu como dispersante; porém, em concentrações maiores (10 a 15 %), tal efeito não foi verificado. Cruvinel et al. (1993) encontraram maior concentração de Ca em agregados menores e maior concentração de K em agregados maiores. A maior quantidade de Ca encontrado nos agregados menores foi atribuída à maior superfície específica destes em relação aos agregados maiores, para densidades semelhantes, enquanto a maior concentração de K nos agregados maiores foi atribuída à absorção endógena e exógena.

Baver (1952) citou que, em solos ácidos, o efeito do Ca na agregação não é tão importante, porque solos saturados por H⁺ flocculam mais que solos saturados por Ca²⁺. Em solos alcalinos, o efeito do Ca pode ser constatado, pois ele toma o lugar do Na no complexo de troca, e o Na é reconhecidamente um agente dispersante (Rengasamy & Olsson, 1991).

O Fe hidratado, quando presente no solo, tem forte poder de agregá-lo. No entanto, na presença de grandes concentrações de Fe já se observou que esse elemento causa a dispersão das argilas, pois, ao revestir sua superfície, altera-lhes a carga (Shanmuganathan & Oades, 1982). Bartoli et al. (1992a,b) descreveram clara relação entre a estabilidade estrutural e o Fe adsorvido, verificando também que substâncias húmicas, na ausência de tal cátion, não foram agentes agregantes efetivos. Janczuk et al. (1992) verificaram que tanto o aumento de Fe quanto o de Al causam aumento das

forças de atração dos colóides que influenciam a agregação do solo.

O método de análise dos agregados tem por objetivo determinar a quantidade e a distribuição do tamanho de agregados estáveis em água. Esse método caracteriza-se pela agitação lenta, dentro de água, de uma amostra de solo, por tempo determinado. As frações das amostras que permanecem em uma ou várias classes de tamanho são usadas para descrever a condição estrutural da amostra inicial do solo. Para a escala de partículas de diâmetro igual ao das argilas e silte, os métodos geralmente consistem em caracterizar, por densitometria e turbidimetria, a suspensão resultante da exposição dos agregados a forças destrutivas (Angers & Mehuis, 1993).

O objetivo deste trabalho foi verificar a influência de atributos físicos, químicos e biológicos, tais como: teores de matéria orgânica, de bases, de argila dispersa em água e total, carbono da biomassa microbiana e números de fungos e bactérias, na estabilidade de agregados em água de dois Latossolos sob plantio direto há mais de quatro anos.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização das áreas experimentais

Latossolo Vermelho - LVd-CNP

Esta área, na Fazenda Lagoa Velha, localiza-se no município de Campos Novos Paulista (22° 36' 11" latitude e 50° 00' 09" longitude), no oeste do estado de São Paulo. A área do experimento tem aproximadamente 35 ha, localizada em uma encosta de 400 m de largura por 880 m de comprimento, sendo a maior dimensão na direção do declive. O solo, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação (Embrapa, 1999), é um Latossolo Vermelho distrófico típico álico textura média A moderado. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, tropical úmido sem estação seca, com verões quentes, geadas pouco frequentes, tendência de concentração das chuvas nos meses de verão e com regime de chuva de 1.200 mm ano⁻¹ (Setzer, 1966). A cultura da safra de verão é soja (*Glycine max* (L.) Merrill), com milho "safrinha" (*Zea mays* L.), na safra de inverno, e, eventualmente, milheto (*Pennisetum typhoides* Burm. F.), na primavera, todas em plantio direto desde 1995.

Latossolo Vermelho - LVd-Anga

Localiza-se em Angatuba (23° 29' 23" latitude e 48° 24' 46" longitude), no sul do estado de São Paulo. A área experimental tem 90 ha e é irrigada por meio de um pivô-central cujo raio atinge 500 m. O solo é um Latossolo Vermelho distrófico típico álico textura argilosa A moderado, segundo o Sistema

Brasileiro de Classificação (Embrapa, 1999). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa mesotérmico úmido, sem estação seca bem definida, e com regime de chuva de 1.250 mm ano⁻¹ (Setzer, 1966). As culturas em rotação envolvem soja (*Glycine max* (L.) Merrill), milho (*Zea mays* L.) e batata (*Solanum tuberosum* L.), esta última introduzida na área a cada três anos e com cultivo convencional.

Demarcação das áreas experimentais

A demarcação do contorno das áreas experimentais foi feita com um DGPS com precisão submétrica, a partir da qual foi definida a grade de amostragem, com pontos distanciados de 100 m, num total de 37 pontos de amostragem no LVd-CNP e de 76 pontos no LVd-Anga (Figura 1).

Após a colheita da cultura de verão, segundo a grade de amostragem georreferenciada, retiraram-se as amostras de solo, na profundidade de 0-10 cm, para a análise dos atributos físicos, químicos e biológicos, em maio de 2000.

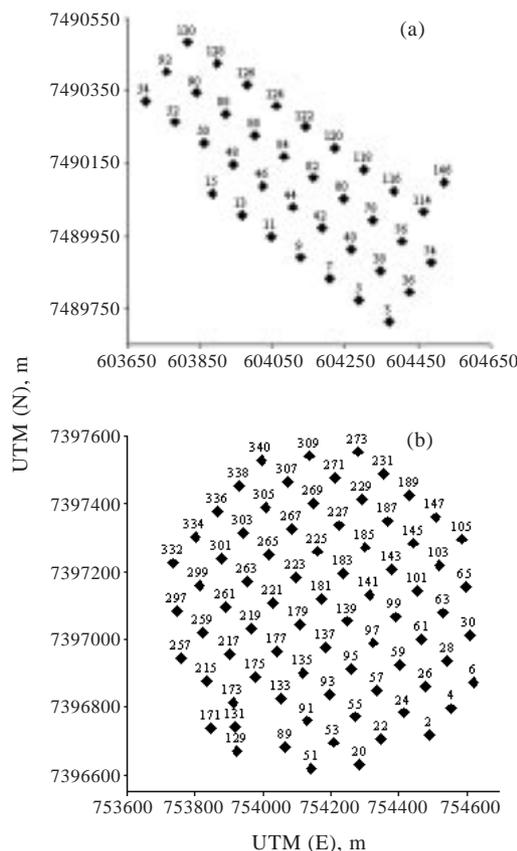


Figura 1. Grade de amostragem no Latossolo Vermelho distrófico típico álico textura média A moderado, em Campos Novos Paulista, SP (a), e no Latossolo Vermelho distrófico típico álico textura argilosa A moderado, em Angatuba, SP (b), com coordenadas em UTM (Zona 22).

Análise de estabilidade de agregados por via úmida

O método empregado é basicamente o descrito por Kemper & Chepil (1965), com modificações introduzidas pelo Laboratório de Física do Solo do Instituto Agronômico.

No laboratório, as amostras são espalhadas e suavemente destorroadas sobre bandejas forradas com papel. O peneiramento das amostras secas ao ar é feito em agitador mecânico com as peneiras 9,52, 4,00 e 2,00 mm e com o fundo, pelo tempo de 10 min, na rotação máxima do aparelho. A fração menor que 2,00 mm (TFSA) é separada para a análise de distribuição de tamanho de partículas.

Para determinar a umidade das amostras, 25 g de agregados da classe 9,52 a 4,00 mm de diâmetro, em duplicata, são pesados e colocados em estufa a 105-110 °C. A massa de matéria seca é obtida após 48 h.

Os recipientes em que se processam as amostras são cheios com água em nível suficiente para cobrir a peneira superior durante o peneiramento. As amostras utilizadas para tal estudo, em triplicata, têm 50 g de agregados que, antes de irem para o conjunto de peneiras, sofrem os pré-tratamentos: (a) com água, (b) com álcool e (c) com benzeno (Hénin et al., 1976). Durante 10 min, as amostras são gentilmente umedecidas, pelas bordas, com água, com álcool ou com benzeno, conforme o pré-tratamento. O peneiramento é feito com peneiras de malhas de 7,93, 6,35, 4,00, 2,00, 1,00 e 0,50 mm de diâmetro, também durante 10 min.

Após o peneiramento, a série de peneiras é imediatamente removida do tanque, permitindo-se que a água escorra por alguns segundos. Os agregados contidos em cada peneira são transferidos para os respectivos copos com auxílio de pisseta e colocados a secar em estufa a 105-110 °C por 48 h ou até massa constante. Os copos mais os agregados são pesados, sendo tais valores registrados como T + A.

Nos copos correspondentes às peneiras de 7,93, 6,35 e 4,00 mm de abertura de malha, passa-se um pincel para soltar os agregados que, a seguir, são umedecidos com água e desfeitos com bastonete de ponta de borracha. O material do copo é então passado pela mesma peneira previamente usada: por meio de um leve jato de água e do bastonete, partículas finas passam por ela, enquanto o material retido na peneira é seco, pesado e registrado como T + P.

O estado de agregação das amostras de solo é avaliado pelo índice de diâmetro médio ponderado (DMP) e pela percentagem de agregados estáveis em água em cada classe de distribuição.

O DMP é expresso da seguinte forma:

$$DMP = \sum_{i=1}^n (X_i \times W_i)$$

em que

W_i = proporção de cada classe em relação ao total

X_i = diâmetro médio das classes de agregados (mm)

n = número de classes de agregados

Argila total e dispersa em água

Para a determinação da argila total, emprega-se o método da pipeta, que é usado no Laboratório de Física do Solo do Instituto Agronômico e está descrito em Camargo et al. (1986). A fração menor que 2,00 mm (TFSA) é utilizada para essa determinação, e o dispersante químico é uma mistura de hidróxido de Na e hexametáfosfato de Na.

A quantidade de argila dispersa em água é determinada pelo mesmo método, excluindo-se o uso do dispersante. Para isso, os agregados da classe 9,52 a 4,00 mm são moídos e passados por peneira de 2,00 mm.

Após ambas as determinações, calcula-se o grau de floculação e de dispersão das amostras, conforme Camargo et al. (1986).

Atributos químicos

O princípio do método de determinação da matéria orgânica do solo é sua oxidação por solução de dicromato de Na em ácido sulfúrico a frio, seguida de determinação colorimétrica do cátion crômio proveniente da reação de oxidação e comparação desses valores com resultados de amostras cujos teores de matéria orgânica foram avaliados pelo método de Walkley-Black (Raij et al., 2001).

O pH é determinado em solução 0,01 mol L⁻¹ de CaCl₂. A acidez total (H + Al) é estimada a partir dos valores de pH de uma suspensão do solo em solução-tampão (Raij et al., 2001).

Para calcular a percentagem de saturação por bases, procede-se à determinação dos teores de Ca, Mg, K e Na pela extração com uma resina trocadora de íons. O princípio do método é a transferência de Ca, Mg, K e P para a resina trocadora de íons, em meio aquoso. A seguir, é feita a separação de resina do solo e extração dos elementos da resina com solução ácida de cloreto de Na (Raij et al., 2001).

Os micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) são extraídos utilizando a solução complexante do DTPA em pH 7,3, e determinados por espectrometria de emissão atômica por plasma. Extraí-se o B em água aquecida em forno de microondas e com uma solução de cloreto de Ba 1,25 g L⁻¹. A determinação é por espectrometria de emissão atômica por plasma (Raij et al., 2001).

Quantificação dos microrganismos

A quantificação dos microrganismos é feita pelo método de diluição em placas. Dez gramas de solo

são suspensos em 90 mL de solução esterilizada de $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e agitados por cerca de 10 min. A partir dessa suspensão, são preparadas diluições, de fator 10, em tubos de ensaio com a mesma solução. Aliquotas de 0,1 mL das diluições são espalhadas em placas de Petri com o meio de cultura adequado para o microrganismo que se deseja contar. Para fungos utilizou-se o meio de Martin e, para bactérias+actinomicetos, o meio de extrato de solo. As placas são colocadas em incubadora a 28°C e, quando se detecta visualmente o crescimento, contam-se as colônias de cada grupo microbiano. O resultado é dado em unidades formadoras de colônias (ufcs).

O carbono da biomassa microbiana é avaliado pelo método da fumigação-extração, de acordo com Vance et al. (1987), que se baseia no fato de que o carbono dos microrganismos mortos pela fumigação é liberado para o solo, de onde é possível extraí-lo quimicamente. Subamostras fumigadas e não fumigadas são submetidas à extração com K_2SO_4 ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$), por 2 h sob agitação, e, depois, são

centrifugadas e filtradas. O sobrenadante recebe $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ e H_2SO_4 , oxidando o carbono. O excesso de dicromato é titulado com $\text{Fe}(\text{NH}_4)(\text{SO}_4)$, a partir do qual se pode calcular a quantidade de carbono extraído na amostra.

Análises estatísticas

Os dados foram analisados por meio de regressões lineares múltiplas entre o DMP e os atributos físicos, químicos e biológicos determinados, usando o procedimento "stepwise" do programa computacional Minitab (Minitab, 2000), a 15 % de significância para entrada e manutenção de variáveis no processo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da análise granulométrica (Quadro 1) confirmam a textura franco-arenosa para a camada superficial do Latossolo de Campos Novos Paulista e muito argilosa para a do de Angatuba.

Quadro 1. Estatísticas dos atributos físicos, químicos e biológicos do Latossolo Vermelho distrófico típico álico textura média A moderado (LVd-CNP) e do Latossolo Vermelho distrófico típico álico textura argilosa A moderado (LVd-Anga)

Atributo profundidade (0-10 cm)	LVd-CNP		LVd-Anga	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)
Areia grossa (g kg^{-1})	364	13	54	17
Areia fina (g kg^{-1})	407	8	128	21
Areia total (g kg^{-1})	771	3	181	18
Silte (g kg^{-1})	50	19	146	16
Argila (g kg^{-1})	179	9	672	6
Argila disp. H_2O (g kg^{-1})	94	14	422	9
Grau de floculação (%)	47	13	37	13
Grau de dispersão (%)	53	12	63	8
Matéria orgânica (g dm^{-3})	21	17	32	12
pH	6,1	3	5,4	6
P (mg dm^{-3})	57	41	37	77
K^+ ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	1,5	34	3,1	28
Ca^{2+} ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	36	18	37	49
Mg^{2+} ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	14	22	18	88
H + Al ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	14,8	13	36,3	20
Soma bases ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	52	18	59	58
CTC ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	67	13	95	32
V (%)	77	6	60	17
B (mg dm^{-3})	0,2	32	0,5	18
Cu (mg dm^{-3})	0,4	22	1,4	14
Fe (mg dm^{-3})	16,2	20	20,5	23
Mn (mg dm^{-3})	2,5	38	3,3	95
Zn (mg dm^{-3})	1,7	148	1,5	29
CBM ($\mu\text{gC g}^{-1}$)	661	15	540	44
Fungos (ufcs)	$1,91 \cdot 10^5$	96	$7,86 \cdot 10^4$	75
Bactérias (ufcs)	$1,54 \cdot 10^7$	81	$1,15 \cdot 10^7$	55

CV = coeficiente de variação. CBM = carbono da biomassa microbiana.

Os resultados relativos à análise química (Quadro 1) do LVd-CNP evidenciaram a adubação que é aplicada às culturas: teor de matéria orgânica dentro do esperado, acidez muito baixa, altos teores de P, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe e Zn, médios para saturação por bases, Cu e Mn e baixos para K⁺ e B. Quanto ao LVd-Anga, o teor de matéria orgânica foi também dentro do esperado, acidez média, altos teores de K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cu, Fe e Zn e médios para P, saturação por bases, B e Mg.

Os pré-tratamentos apresentaram valores bastante semelhantes entre si para a estabilidade de agregados no LVd-CNP (Quadro 2). No LVd-Anga, no entanto, a variação entre o maior – obtido com o pré-tratamento em álcool - e o menor – obtido com o benzeno – foi de quase 10 vezes, examinando-se o DMP, por exemplo.

A camada superficial do LVd-CNP é franco-arenosa com teor médio de areia total de 771 g kg⁻¹, enquanto a do LVd-Anga é argilosa com teor médio de areia total de 181 g kg⁻¹. Considerando, principalmente, essa diferença em textura, ocorre a diferença entre os índices de estabilidade de agregados nos dois solos com pré-tratamento com água. Outro fator que estaria influenciando na maior agregação do LVd-Anga é a concentração de cátions e de matéria orgânica, que agem como agregantes do solo. A percentagem de agregados estáveis entre 6,35 e 0,50 mm foi de 4,1, no LVd-CNP, enquanto, no LVd-Anga, foi de 50,1. O diâmetro médio ponderado foi de 0,281, no LVd-CNP, e, no LVd-Anga, foi de 1,159.

O álcool atenuou de forma drástica a dispersão dos agregados no LVd-Anga e no LVd-CNP notou-se um pequeno acréscimo do DMP com este pré-tratamento, mostrando que este não dissolve frações orgânicas de grande importância para a agregação

do solo; deve agir como um desidratante principalmente nos microporos dos agregados aproximando a fração orgânica produzida pela população bacteriana, visto que neste pré-tratamento observou-se seu aumento. Também deve agir como um atenuador da pressão que a água exerce ao penetrar nos agregados mantendo-os unidos. Deve-se ressaltar que, no LVd-Anga, a ação da matéria orgânica evidenciada no pré-tratamento com água não foi constatada no pré-tratamento com álcool que, por sua vez, evidenciou a ação bacteriana, levando a crer que o álcool deve solubilizar parte da fração húmica do solo.

O benzeno agiu dissolvendo a matéria orgânica em todas as frações, principalmente no LVd-Anga. Ao que parece, em agregados entre 2,00 e 0,50 mm, o benzeno não agiu com a mesma eficácia que nas classes de agregados maiores, pois no LVd-CNP estavam presentes apenas agregados nesta classe e não houve grande diferença entre as amostras com relação à estabilidade, podendo este fenômeno estar ocorrendo pela maior área superficial dos agregados maiores e, conseqüentemente, pela maior possibilidade de penetração do líquido nos agregados. No LVd-Anga, a diferença dos índices da estabilidade de agregados entre os pré-tratamentos foi drástica.

O DMP no pré-tratamento com água no LVd-Anga foi de 1,2 mm, enquanto para o LVd-CNP foi de 0,3 mm. Seguramente essa diferença está relacionada com a grande diferença textural (Baver, 1952; Mbagwu et al., 1993; Boix-Fayos et al., 2001) entre ambos. No LVd-CNP, os valores médios encontrados foram de 179 g kg⁻¹ e 21 g dm⁻³, para o teor de argila e matéria orgânica, respectivamente, e, para o LVd-Anga, foram de 672 g kg⁻¹ e 32 g dm⁻³ (Quadro 1).

Quadro 2. Percentagem de agregados estáveis em água no Latossolo Vermelho distrófico típico álico textura média A moderado e no Latossolo Vermelho distrófico típico álico textura argilosa A moderado submetidos a pré-tratamentos com água, álcool e benzeno

Pré-tratamento	Classe de agregado							DMP
	mm							
	9,52 a 7,93	7,93 a 6,35	6,35 a 4,00	4,00 a 2,00	2,00 a 1,00	1,00 a 0,50	< 0,50	
%								
Latossolo Vermelho distrófico típico álico textura média A moderado								
Água	0	0	0	0,3	0,6	3,2	95,9	0,281
Álcool	0	0,1	0,2	0,5	0,8	3,1	95,3	0,305
Benzeno	0	0,1	0,2	0,4	0,3	1,8	97,2	0,292
Latossolo Vermelho distrófico típico álico textura argilosa A moderado								
Água	0	0,1	1,9	16,8	23	11,6	46,6	1,159
Álcool	2,9	9,6	21	17,4	7,7	5,5	35,9	2,796
Benzeno	0	0	0,1	0,5	1,2	2,2	96	0,295

Latossolo Vermelho - LVd-CNP

Pré-tratamento com água

O DMP é um índice que traduz a estabilidade dos agregados de toda a amostra. Sendo assim, a análise dos atributos que concorrem para seu aumento ou diminuição é uma síntese de todos os fatores que influenciaram cada classe de agregados.

A comunidade bacteriana age tanto mecanicamente, pelo aumento do número de indivíduos em microporos do solo, que ligam a fração mineral, aproximando-a e reorganizando-a de maneira a formar agregados, como quimicamente, pela produção de polissacarídeos (Foster, 1978).

Agregados estabilizados por polissacarídeos não têm grande durabilidade no solo, já que tais compostos serão consumidos por outros microrganismos. Essa atividade, ao mesmo tempo, acelera a degradação das substâncias orgânicas novas no solo, como, por exemplo, os carboidratos, em substâncias mais estáveis, como as húmicas, que são as responsáveis pela formação de agregados persistentes no solo (Tisdall & Oades, 1982).

À semelhança dos resultados apresentados por outros autores (Bartoli et al., 1992a,b), modelos propostos por De Coninck (1980) e teorias e resultados citados em Russel (1973) e Arena (1968), o Fe também foi fator determinante para a agregação neste estudo (Quadro 3).

Pré-tratamento com álcool

Comparando os pré-tratamentos com água e com álcool (Quadro 4), observa-se que, com o álcool, desaparece o efeito de agregação do K e aparecem a argila como agregante e o efeito desagregante da areia fina. Os dois pré-tratamentos confirmaram a atuação do Fe e da comunidade bacteriana como elementos de agregação.

O pré-tratamento com álcool evidencia a argila como o fator mais importante a aumentar a estabilidade dos agregados. Em relação às frações mais grosseiras do solo, ela é, sabidamente, um

Quadro 3. Atributos mais importantes na regressão linear múltipla entre o diâmetro médio ponderado do Latossolo Vermelho distrófico típico álico textura média A moderado, usando água como pré-tratamento, e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo

Atributo	Coefficiente	Probabilidade
Bactérias (ufcs)	4.10^{-10}	0,002
Ferro (mg dm ⁻³)	0,00142	0,011
Potássio (mmol _e dm ⁻³)	0,0073	0,031

Diâmetro médio ponderado (mm) = $0,2412 + 4.10^{-10}$ Bactérias + $0,00142$ Ferro + $0,0073$ Potássio. R² ajustado = 0,3874.

Quadro 4. Atributos mais importantes na regressão linear múltipla entre o diâmetro médio ponderado dos agregados do Latossolo Vermelho distrófico típico álico textura média A moderado, usando álcool como pré-tratamento, e atributos físicos, químicos e biológicos do solo

Atributo	Coefficiente	Probabilidade
Argila (g kg ⁻¹)	0,00131	< 10 ⁻³
Grau de dispersão (%)	0,00257	< 10 ⁻³
Ferro (mg dm ⁻³)	0,0040	0,010
Areia fina (g kg ⁻¹)	-0,00030	0,046
Bactérias (ufcs)	6.10^{-9}	0,117

Diâmetro médio ponderado (mm) = $-0,1139 + 0,00131$ Argila + $0,00257$ Grau de dispersão + $0,0040$ Ferro - $0,0003$ Areia fina + 6.10^{-9} Bactérias. R² ajustado = 0,5713.

agente agregante por apresentar muita energia livre e maior superfície específica por unidade de volume (Tschapek, 1949). Os resultados obtidos corroboram os de Mbagwu et al. (1993) e Boix-Fayos et al. (2001). Saliente-se que a presença de agregados neste solo de textura média deve-se unicamente ao efeito cimentante das frações: argila e orgânica (Dutartre et al., 1993), que unem as frações silte e areia, pois partículas grosseiras do solo, sozinhas, estão em permanente estado de defloculação (Baver, 1952).

Como agentes agregantes também aparecem o Fe e a comunidade bacteriana, cuja importância já havia sido revelada no pré-tratamento com água. O Fe é um elemento trivalente e reconhecidamente um forte agente agregante do solo (Shanmuganathan & Oades, 1982; Bartoli et al., 1992a,b; Janczuk et al., 1992). Na série liotrópica de Arena (1968), esse elemento aparece como o segundo mais importante na série floculante, em seguida ao Al. Sabe-se que o intumescimento, a quebra de agregados e a dispersão de argila dependem, dentre outros fatores, da hidratação dos cátions. Assim, o Fe diminui com eficiência o potencial energético das moléculas de água (Arena 1968; Iwata et al., 1988). Sendo um elemento trivalente, o Fe une-se à fração húmica para formar agregados estáveis, conforme já relatado por Edwards & Bremer (1967). Essas associações constituem grande parte da fração organomineral do solo (Tisdall & Oades, 1982).

Sabe-se que os polissacarídeos produzidos por bactérias são, em grande parte, géis hidrófobos (Guggenberger et al., 1999) que, quando estão na superfície dos agregados, impedem a infiltração de água nos microporos e a destruição das ligações entre os colóides e a consequente destruição dos agregados (Hénin et al., 1976). Além da excreção de polissacarídeos, as bactérias agem mecanicamente no sistema organomineral do solo, visto que, quando suas

colônias crescem, pressionam a parte mineral do solo que, por sua vez, se reorienta (Foster, 1978).

Os graus de dispersão e de floculação foram envolvidos no procedimento "stepwise", com o objetivo de verificar se essa técnica mais rápida poderia ser utilizada como procedimento para estimar a estabilidade de agregados. Os coeficientes de determinação, porém, foram muito baixos e observou-se efeito inverso do fenômeno, ou seja, houve correlação positiva entre o grau de dispersão e os índices de agregação e correlação negativa com o grau de floculação. Isso pode ser atribuído ao fato de que, quanto maior o teor de argila, maior a estabilidade de agregados. Entretanto, quando se determina a argila dispersa em água, nos solos que apresentam elevados teores de argila total, encontram-se, da mesma forma, maiores teores de argila dispersa em água. Com relação a esse assunto há necessidade de mais estudos.

Angers & Mehuis (1993) citaram que a técnica para determinar a argila dispersa é eficiente para partículas do tamanho de argila e silte. Oades (1984) relatou que a matéria orgânica do solo provoca maior dispersão de argila pela complexação de íons metálicos di e trivalentes, reduzindo suas concentrações na solução e aumentando a dupla camada elétrica. A matéria orgânica, como foi um dos principais agentes para a estabilização dos agregados, pode estar provocando o efeito inverso dos métodos aplicados. Ressalte-se também que a argila dispersa em água é diretamente proporcional ao grau de dispersão e inversamente proporcional ao de floculação.

A areia fina é fator de desestabilização dos agregados do solo, o que pode ser verificado pelo sinal negativo do coeficiente. Isso pode ser notado, também, por sua característica bem definida de aumentar a erodibilidade dos solos (Wischmeier & Smith, 1978). Os dados encontrados neste trabalho corroboram os obtidos por Mbagwu et al. (1993). Aliada a essa característica, Russel (1973) observou que a fração areia fina é um meio desfavorável para o crescimento radicular, visto que qualquer canal ou poro formado em tal condição será obstruído pelo desmoronamento dos grãos de areia ao ser umedecido.

Pré-tratamento com benzeno

O que se observa com este pré-tratamento (Quadro 5), de maneira geral, é a ausência do efeito da comunidade bacteriana na agregação do solo, diferentemente do que ocorreu nos pré-tratamentos com álcool e água. O benzeno age como solvente dos polissacarídeos excretados por bactérias ou outros organismos do solo, já que é um solvente orgânico (Eduardo Vitoria, 1940; Fieser & Fieser, 1948). Esse tratamento foi útil pois, desaparecendo o efeito da comunidade bacteriana, pôde-se constatar o efeito da de fungos, pelo enlace das partículas primárias e secundárias do solo, formando e estabilizando os agregados (Foster, 1981; Tisdal & Oades, 1982; Guggenberger et al., 1999).

A participação da areia grossa como arcabouço da agregação explica sua inclusão entre os agentes da estabilização dos agregados. Este resultado vai ao encontro dos obtidos por Mbagwu et al. (1993), que relacionaram a areia grossa com a maior responsável pela estabilidade de agregados.

Outro fato que deve ser ressaltado é a presença da matéria orgânica agindo como agregante, o que corrobora inúmeros trabalhos, como os de Silva & Mielnickzuck (1997), Castro Filho et al. (1998) e Palmeira et al. (1999). Além desse efeito, há que se lembrar que a matéria orgânica é fonte de energia e nutrientes para a maioria dos microrganismos que ocorrem em solos cultivados.

Latossolo Vermelho - LVd-Anga

Pré-tratamento em água

Dentre os atributos importantes para a agregação desse solo destacam-se a areia fina e a comunidade de fungos, como desagregantes, e a matéria orgânica, como agregante (Quadro 6).

À semelhança do já observado para o LVd-CNP, a presença de elevados teores de areia fina e

Quadro 5. Atributos mais importantes na regressão linear múltipla entre o diâmetro médio ponderado do Latossolo Vermelho distrófico típico álico textura média A moderado, usando benzeno como pré-tratamento, e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo

Atributo	Coefficiente	Probabilidade
Matéria orgânica (g dm ⁻³)	0,0042	< 10 ⁻³
Areia grossa (g kg ⁻¹)	0,00025	0,006
Fungos (ufcs)	0,00004	0,079
Ferro (mg dm ⁻³)	0,0022	0,094

Diâmetro médio ponderado (mm) = 0,0688 + 0,0042 Matéria orgânica + 0,00025 Areia grossa + 0,00004 Fungos + 0,0022 Ferro. R² ajustado = 0,5184.

Quadro 6. Atributos mais importantes na regressão linear múltipla entre o diâmetro médio ponderado dos agregados do Latossolo Vermelho distrófico típico álico textura argilosa A moderado, usando água como pré-tratamento, e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo

Atributo	Coefficiente	Probabilidade
Areia fina (g kg ⁻¹)	-0,00291	< 10 ⁻³
Matéria orgânica (g dm ⁻³)	0,0144	0,001
Fungos (ufcs)	-0,00048	0,093

Diâmetro médio ponderado (mm) = 1,105 - 0,00291 Areia Fina + 0,0144 Matéria orgânica - 0,0048 Fungos. R² ajustado = 0,3522.

conseqüente diminuição dos de argila, agiu negativamente sobre a estabilidade estrutural do solo. Nesse solo, a matéria orgânica foi importante para a estabilidade de agregados, o que corrobora trabalhos de Harris et al. (1966) e Edwards & Bremer (1967), que verificaram que a matéria orgânica é muito mais eficiente em solos argilosos do que em solos com maiores teores de areia, como, por exemplo, o LVd-CNP. Nesse último solo, notou-se que a comunidade bacteriana foi mais eficiente em agregar o solo que a matéria orgânica. Essa aparente discrepância talvez esteja relacionada com a menor comunidade de bactérias e com uma concentração maior da matéria orgânica no LVd-Anga, que estaria escondendo o efeito de polissacarídeos bacterianos.

A comunidade de fungos aparece também como agente desagregante, o que é um dado para ser avaliado com cuidado: vários são os autores que citam a importância dos fungos na formação e estabilização de agregados pela excreção de polissacarídeos e principalmente por suas hifas, que enlaçam partículas primárias ou até mesmo agregados, aproximando-os e estabilizando-os (Harris et al., 1966; Foster, 1981; Tisdall & Oades, 1982; Molohe, 1987; Guggenberger et al., 1999). É possível que os resultados aqui apresentados estejam relacionados com um menor comprimento de hifas por unidade de volume de solo, insuficiente para estabilizar os agregados (Degens et al., 1994). Outro fato que deve ser ressaltado é que a capacidade de agregação exercida pelos fungos depende da espécie (Harris et al., 1966; Degens, 1997). Fatores como pH, umidade do solo, aeração, temperatura, composição química dos resíduos vegetais presentes no solo e disponibilidade de nutrientes no solo podem não ser os ideais para o crescimento da comunidade de fungos (Harris et al., 1966) nesse solo, que, muito provavelmente, é qualitativamente diferente da que cresce no LVd-CNP.

A matéria orgânica é agente identificado como agregante (Hénin et al., 1976; Tisdall & Oades, 1982; Degens, 1997; Castro Filho et al., 1998; Kay & Angers, 1999). Porém, Tisdall & Oades (1982) e Kay & Angers (1999) citam que, em alguns casos, ela pode agir como dispersante por apresentar cargas permanentes negativas, que, na ausência de cátions, podem repelir-se. O resultado aqui apresentado confirma os da maioria dos autores citados. A eficiência da matéria orgânica para a estabilização de agregados pode ser verificada por diferentes formas de manejo do solo que aumentam seu teor, como, por exemplo, o plantio direto (Campos et al., 1995; Castro Filho et al., 1998) e a adição de resíduos orgânicos (Tisdall et al., 1978; Jorge et al., 1991).

Pré-tratamento com álcool

Com o pré-tratamento com álcool (Quadro 7), evidenciou-se a importância de outros agentes agregantes além da matéria orgânica, quais sejam:

Fe e bactérias, cujo efeito estaria sendo por ela encoberto. O álcool solubiliza parte dessa matéria orgânica, provavelmente o ácido hematomelânico, como citado em Russel (1973) e Fassbender (1980). Pode-se supor que, quando ocorre a desidratação dos agregados, as partículas orgânicas - polissacarídeos bacterianos, nesse caso - e a fração argila aproximam-se e, por meio de cátions, como o Fe, ocorre sua interação, formando agregados estáveis em água. Da mesma forma já discutida para o LVd-CNP, a inclusão da areia grossa entre os agregantes resulta de seu papel como esqueleto da agregação.

O Ca, pela análise estatística realizada, mostrou-se agente de desagregação nesse solo, fato para o qual não se encontrou paralelo na literatura. Também, como agente desagregante, notou-se o H + Al. Nesse solo, no pré-tratamento com água, não se constatou efeito de cátions trocáveis, como o K no LVd-CNP, sobre a estabilização de agregados, o que pode estar relacionado com a grande quantidade de cargas positivas, que conferem às frações (argila e orgânica), cargas que vão de neutras a positivas (Shanmuganatham & Oades 1982), dispersando os colóides. Ressalte-se aqui que ambos, o H+Al e o Ca, em média, foram os cátions em maior concentração no solo e, provavelmente, onde essas concentrações foram mais elevadas, houve efeito inverso na estabilidade dos agregados. Pode ser também que o álcool tenha solubilizado determinadas frações orgânicas que retinham grande quantidade de cátions que, após o tratamento, ficaram em excesso no solo, dispersando-o. O efeito desidratante do álcool, ao mesmo tempo, aproximou os minerais de argilas saturados por cátions, aumentando sua força de repulsão.

Chama a atenção, nesse pré-tratamento (Quadro 8), a diferença de fatores entre os dois solos:

Quadro 7. Atributos mais importantes na regressão linear múltipla entre o diâmetro médio ponderado dos agregados do Latossolo Vermelho distrófico típico textura argilosa A moderado, usando álcool como pré-tratamento, e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo

Parâmetro	Coefficiente	Probabilidade
Ferro (mg dm ⁻³)	0,0559	< 10 ⁻³
Bactérias (ufcs)	0,187	0,004
H + Al (mmol _c dm ⁻³)	-0,0282	0,007
Cálcio (mmol _c dm ⁻³)	-0,0052	0,053
Areia grossa (g/kg)	0,0090	0,059
Fungos (ufcs)	-0,0011	0,098

Diâmetro médio ponderado = 2,26 + 0,0559 Ferro + 0,187 Bactérias - 0,0282 H + Al - 0,0052 Cálcio + 0,0090 Areia grossa - 0,0011 Fungos. R² ajustado = 0,3164.

Quadro 8. Atributos mais importantes na regressão linear múltipla entre o diâmetro médio ponderado dos agregados do Latossolo Vermelho distrófico típico álico textura argilosa A moderado, usando benzeno como pré-tratamento, e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo

Atributo	Coefficiente	Probabilidade
Areia fina (g kg ⁻¹)	-0,00067	< 10 ⁻³
Argila (g kg ⁻¹)	-0,00041	< 10 ⁻³
Potássio (mmol. dm ⁻³)	0,0076	0,009
Saturação por bases (%)	-0,00058	0,023

Diâmetro médio ponderado (mm) = 0,6686 – 0,00067 Areia fina – 0,00041 Argila + 0,0076 Potássio – 0,00058 Saturação por bases. R² ajustado = 0,2575.

aqueles que apareceram como agregantes no LVd-CNP - matéria orgânica, fungos e teor de Fe – não foram evidenciados no LVd-Anga. Nesse solo, o K também aparece como agente agregante, à semelhança do já ocorrido no LVd-CNP com o pré-tratamento com água. Sua importância para a agregação do solo foi maior que o Ca e Mg, o que corrobora dados obtidos por Ceconi et al. (1963) e Ravina (1973). No entanto, o K apareceu como agente agregante no LVd-Anga apenas neste pré-tratamento, ou seja, os polissacarídeos bacterianos, a matéria orgânica e o teor de Fe podem ter encoberto, com os outros pré-tratamentos, o efeito benéfico do K. Foi um agente importante para a agregação na classe de agregados menores que 2,00 mm, visto que no LVd-CNP prevaleceram estes agregados e no LVd-Anga, neste pré-tratamento, também.

CONCLUSÕES

1. Para o LVd-CNP, na camada de 0-10 cm, os principais agentes agregantes foram, em ordem de importância, a comunidade bacteriana e os teores de Fe e de K. Para o LVd-Anga, o principal agente agregante foi a matéria orgânica.

2. Pode-se esperar baixa estabilidade de agregados em solos com altos teores de areia fina, da mesma forma que se pode esperar alta estabilidade de agregados em solos com alto teor de argila.

3. O K apareceu mais frequentemente associado à agregação do solo que o Ca. O cátion mais eficiente para a estabilização de agregados foi o Fe.

4. A comunidade bacteriana mostrou-se como o principal agente microbiano para a estabilização de

agregados, aparecendo como principal agente no LVd-CNP e como um dos principais no LVd-Anga. Já os fungos não se mostraram tão eficientes.

AGRADECIMENTOS

Aos parceiros do Instituto Agrônomo, os irmãos José Roberto e Lúcio Borges, proprietários da Fazenda Lagoa Velha em Campos Novos Paulista, e a Antônio Carlos Rodrigues e José Antônio Furtado, proprietários da Fazenda Estância Dois Irmãos em Angatuba.

Às técnicas de laboratório, Luzia Aparecida Felisbino da Silva e Regina Célia Batista Moretti, e aos técnicos de campo, Márcio Fernando Mazzini e Reginaldo Galhardo Gonçalves, do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agrônomo, pela realização das análises de estabilidade de agregados e pela colaboração na coleta de amostras de solo.

LITERATURA CITADA

- ANGERS, D.A. & MEHUIS, G.R. Aggregate stability to water. In: CARTER, M.R., ed. Soil sampling and methods of analysis. Boca Raton, Lewis Publishers for the Canadian Society of Soil Science, 1993. p.651-657.
- ARENA, A. Curso de suelos - Física de suelos. Rio de Janeiro: Centro Pan-Americano de Aperfeiçoamento para Pesquisas de Recursos Naturais (CEPERN), Instituto Pan-Americano de Geografia e História, OEA e Ministério da Agricultura do Brasil. 1968. 72p.
- BARTOLI, F.; PHILIPPY, R. & BURTIN, G. Poorly ordered hydrous Fe oxides, colloidal dispersion and soil aggregation. II. Modification of silty soil aggregation with Fe (III) polycations and modelhumic macromolecules. J. Soil Sci., 43:59-75, 1992a.
- BARTOLI, F.; PHILIPPY, R.; PORTAL, J.M. & GERARD, B. Poorly ordered hydrous Fe oxides, colloidal dispersion and soil aggregation. I. Effect of humic macromolecules on surface and colloidal properties of Fe (III) polycations. J. Soil Sci., 43:47-58, 1992b.
- BAVER, L.D. Soil physics. 2.ed. New York, John Wiley & Sons, 1952. 398 p.
- BOIX-FAYOS, C.; CALVO-CASES, A.; IMESON, A.C. & SORIANO-SOTO, M.D. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. Catena, 44:47-67, 2001.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química e física de solos do Instituto Agrônomo. Campinas, Instituto Agrônomo, 1986. 94p. (Boletim técnico, 106)

- CAMARGO, O.A.; VALADARES, J.M.A.S. & GERALDI, R.N. Características químicas e físicas de solo que recebeu vinhaça por longo tempo., Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 30p. (Boletim técnico, 76)
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. R. Bras. Ci. Solo, 19:121-126, 1995.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A.L. Estabilidade de agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. R. Bras. Ci. Solo, 22:527-538, 1998.
- CECCONI, S.; SALAZRAND, A. & MARTELLI, M. The effect of different cations on the structural stability of some soils. Agrochemica, 7:185-204, 1963.
- CRUVINEL, P.E.; FLOCCHINI, R.G.; CRESTANA, S.; MORALES, J.R.; MIRANDA, J.; HUSKO, B.H. & NIELSEN, D.R. Studying the influence of the aggregates sizes on some elements of an Oxisol with PIXE. Soil Sci., 155:100-104, 1993.
- DE CONINCK, F. Major mechanisms in formation of spodic horizons. Geoderma, 24:101-128, 1980.
- DEGENS, B.P. Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and the factors affecting these: a review. Aust. J. Soil Res., 35:431-459, 1997.
- DEGENS, B.P.; SPARLING, G.P. & ABBOT, L.K. The contribution from hyphae, roots and organic carbon constituents to the aggregation of a sandy loam under long-term clover-based and grass pastures. Europ. J. Soil Sci., 45:459-468, 1994.
- DUTARTRE, Ph.; BARTOLI, F.; ANDREUX, F.; PORTAL, J.M. & ANGERS, A. Influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soils from West Africa. In: BRUSSAARD, L. & KOOISTRA, M.J., eds. Soil structure/soil biota interrelationships. Amsterdam, Elsevier Science Publishers, 1993. p.459-478.
- EDUARDO VITORIA, S.J. Química del carbono. Barcelona, Tipográfica Católica, 1940. 896p.
- EDWARDS, A P. & BREMER, J.M. Microaggregates in soil. J. Soil Sci., 18:64-73, 1967.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa, Produção de Informação; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- FASSBENDER, H.W. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1980. 398 p.
- FIESER, L.F. & FIESER, M. Química orgánica. México, Editorial Atlante, 1948. 1112p.
- FOSTER, R.C. Mycelial strands of *Pinus radiata* D. Don: ultrastructure and histochemistry. New Phytol., 88:705-711, 1981.
- FOSTER, R.C. Ultramicromorphology of some South Australian Soils. In: EMERSON, W.W.; BOND, R.D. & DEXPER, A.R., eds. Modification of soil structure. New York, John Wiley & Sons, 1978. p.103-109.
- GUGGENBERGER, G.; ELLIOTT, E.T.; FREY, S.D.; SIX, J. & PAUSTIAN, K. Microbial contributions to the aggregation of a cultivated grassland soil amended with starch. Soil Biol. Biochem., 31:407-419, 1999.
- HARRIS, R.F.; CHESTERS, G. & ALLEN, O.N. Dynamics of soil aggregation. Adv. Agron., 18:107-169, 1966.
- HÉNIN, S.; GRAS, R. & MONNIER, G. Os solos agrícolas. Rio de Janeiro, Forense-Universitária; São Paulo, Universidade de São Paulo, 1976. 334p.
- IWATA, S.; TABUCHI, T. & WARKENTIN, B.P. Soil-water interactions: mechanisms and applications. New York, Marcell Dekker, 1988. 67p.
- JANCZUK, B.; BIALOPIOTROWICZ, A.; ZDZIENNICKA, M.; HAJNOS, M. & JÓZEFACIUK, G. The influence of soil clay constituents on surface free energy of clay fractions. J. Soil Sci., 43:27-35, 1992.
- JORGE, J.A.; CAMARGO, O.A. & VALADARES, J.M.A.S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro quatro anos após a aplicação de lodo de esgoto e calcário. R. Bras. Ci. Solo, 15:237-240, 1991.
- KAY, B.D. & ANGERS, D.A. Soil structure. In: SUMNER, M.E., ed. Handbook of soil science. Washington, CRC Press, 1999. p. 229-276.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARK, F.E., eds. Methods of soil analysis - Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.499-510. (Agronomy Series, 9)
- KOHNKE, H. Soil physics. New York, Mac Grow-Hill, 1968. p.118-142.
- LEVY, G.J. & TORRENTO, J.R. Clay dispersion and macroaggregate stability as affected by exchangeable potassium and sodium. Soil Sci., 160:352-358, 1995.
- MARTIN, J.P.; MARTIN, W.P.; PAGE, J.B; RANEY, W.A. & MENT, J.D. Soil aggregation. Adv. Agron., 7:1-37, 1955.
- MBAGWU, J.S.C.; PICCOLO, A. & MBILA, M.O. Water-stability of aggregates of some tropical soils treated with humic substances. Pedologie, 43:269-284, 1993.
- MINITAB. Statistical Software. Release 13,1 (www.minitab.com). 2000.
- MOLOPE, M.B.; GRIEVE, I.C. & PAGE, E.R. Contributions by fungi and bacteria to aggregate stability of cultivated soils. J. Soil Sci., 38:71-77, 1987.
- OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. Plant Soil, 76:319-337, 1984.
- PALMEIRA, P.R.T.; PAULETO, E.A.; TEIXEIRA, C.F.A.; GOMES, A.S. & SILVA, J.B. Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. R. Bras. Ci. Solo, 23:189-195, 1999.

- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA H. & QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solo tropicais. Campinas, Instituto Agronômico, 2001, 285p.
- RAVINA, I. The mechanical and physical behavior of Ca-clay soil and K-clay soil. In: HADAS, A., ed. Physical aspects of soil water and salts in ecosystems. Berlin, Springer-Verlag, 1973. p. 131-140. (Ecological Studies, 4)
- RENGASAMY, P., GREENE, R.S.B. & FORD, G.W. Influence of magnesium on aggregate stability in sodic Red-Brown earths. *Aust. J. Soil. Res.*, 24:229-237, 1986.
- RENGASAMY, P. & OLSSON, A. Sodicity and soil structure. *Aust. J. Soil Res.*, 29:935-952, 1991.
- RUSSEL, E.W. Soil conditions and plant growth. 10.ed. London: Longman, 1973.
- SETZER, J. Atlas climático e ecológico do estado de São Paulo. São Paulo, Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguaí., CESP, 1966. 61p.
- SHANMUGANATHAN, R.P. & OADES, J.M. Modification of soil physical properties by manipulating the net surface charge on colloids through addition of Fe (III) polycations. *J. Soil Sci.*, 33:451-465, 1982.
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:113-117, 1997.
- TSCHAPEK, M. Química coloidal del suelo. I. Fenomenos de superficie. Buenos Aires, Imprenta y Casa Editora "Coni", 1949.
- TISDALL, J.M.; COCKROFT, B. & UREN, N.C. The stability of soil aggregates as affected by organic materials, microbial activity and physical disruption. *Aust. J. Soil Res.*, 16:9-17, 1978.
- TISDALL, J.M. & OADES, L.M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *J. Soil Sci.*, 33:141-163, 1982.
- VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, 19:703-707, 1987.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. Washington, U.S. Department of Agriculture, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537)