

8

Aspectos Físicos de um Solo Tratado com Lodo de Esgoto: Estabilidade de Agregados e Argila Dispersa em Água

Heloisa Ferreira Filizola; Manoel Dornelas de Souza; Marco Antônio Ferreira Gomes e Rita Carla Boeira

Introdução

Os estudos relativos aos parâmetros físicos do solo têm auxiliado no entendimento de vários processos que interferem de maneira positiva ou negativa na sua capacidade de suporte para as plantas. Pela importância que exercem no sistema solo, pode-se considerar que os parâmetros físicos, dentre eles, a estabilidade de agregados e a quantidade de argila dispersa em água, constituem bons indicadores de qualidade de solo. Um solo bem agregado favorece a penetração das raízes das plantas, a aeração, a infiltração e o armazenamento da água.

Dentre os principais fatores que interferem na gênese dos agregados podem ser citados a argila, a matéria orgânica e os sesquióxidos de ferro e de alumínio, tidos como agentes cimentantes das partículas. Os cátions adsorvidos e o manejo do solo também influem no processo de estruturação. A estabilidade das unidades estruturais, agregados, tem demonstrado variação dependente do tipo de manejo do solo (Campos et al., 1995) e das culturas (Queiroz Neto et al., 1966).

Para haver formação dos agregados no solo são necessárias duas condições: que uma força mecânica qualquer provoque a aproximação das partículas do solo (movimento de raízes, animais, expansão e contração do solo, práticas agrícolas); após o contato entre as partículas, deve existir um agente cimentante que mantenha a união, gerando assim o agregado. A matéria orgânica juntamente com os minerais de argila são os dois agentes cimentantes

que mais contribuem para a agregação do solo. Muitos trabalhos mostram a correlação entre o teor de carbono orgânico no solo e a estabilidade dos agregados em água.

Segundo Khaleel et al. (1981) e Martens & Frankenberger Jr. (1992), a aplicação de resíduos orgânicos derivados de animais, de plantas e de adubos verdes no solo tem sido empregada para induzir condições favoráveis para crescimento de plantas. Entretanto, os mecanismos pelos quais as adições de matéria orgânica melhoram a estrutura do solo não são completamente compreendidos, ainda que seus efeitos sejam universalmente. Segundo Gupta et al. (1977), Khaleel et al. (1981) e Cegarra (1983), a aplicação de compostos orgânicos freqüentemente aumenta o conteúdo de carbono no solo. Esse incremento, geralmente, leva ao incremento da estabilidade de agregados, da capacidade de retenção de água e, também, à diminuição da densidade do solo.

As substâncias húmicas podem se ligar à fração mineral do solo, por meio de cátions polivalentes (Canellas et al., 1999). Os grupos ácidos reativos distribuem-se por toda a macromolécula e, dessa forma, a ligação com cátions polivalentes pode ocorrer com diferentes partículas de argila, simultaneamente. Como resultado há um aumento da agregação das partículas do solo. Essa adsorção não somente une as partículas de argila, mas também orienta a porção hidrofóbica das substâncias húmicas para o lado externo do agregado, aumentando a estabilidade do solo (Mbagwu & Piccolo, 1990).

De acordo com Novotny & Martin-Neto (1999), determinadas substâncias desenvolvem cargas elétricas na superfície, quando em contato com um meio polar. Os possíveis mecanismos de geração dessas cargas podem ser a ionização (no caso das substâncias húmicas) e a adsorção ou a dissociação de íons. A ionização, no caso das substâncias húmicas, é o mecanismo mais importante, devido à existência de grupamentos carboxílicos e fenólicos em sua estrutura. A maior ou menor dispersão baseia-se no fato de que há um balanço entre a repulsão das cargas da dupla camada elétrica entre partículas coloidais e a interação das forças

Aspectos Físicos de um Solo Tratado com Lodo de Esgoto: Estabilidade de Agregados e Argila Dispersa em Água

atrativa de van der Waals entre essas partículas. Os processos de floculação e dispersão dependem da espessura da dupla camada elétrica (ou difusa) e da força iônica do meio. Em camadas finas e em função das elevadas forças iônicas, surge um mínimo de energia potencial que estabiliza os agregados, floculando as partículas coloidais; porém o processo pode ser reversível, se ocorrer agitação.

O objetivo do presente capítulo é discutir os efeitos do sistema de manejo do solo com a aplicação de lodo de esgoto, na cultura do milho, por meio da avaliação dos seguintes parâmetros: estabilidade dos agregados, argila dispersa em água e carbono orgânico.

Metodologia

O procedimento inicial consistiu em avaliar o diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), a quantidade de argila dispersa em água (ADA) e de carbono orgânico (CO) do solo antes da aplicação do lodo. Esses dados foram usados como referências para efeito de comparação com aqueles obtidos após os tratamentos com os lodos de esgoto da ETE de Franca e da ETE de Barueri.

Para esta primeira avaliação, foram abertas seis trincheiras ao redor da área experimental, as amostragens foram feitas em profundidades com intervalos médios de 10 cm, até a profundidade máxima de 120 cm. Torrões não deformados foram coletados e colocados em latas de alumínio para evitar a desagregação. Em laboratório, os torrões foram secos ao ar (25°C) e passados em peneira com malhas de 4 mm, como forma de definição do limite superior do diâmetro para o início dos trabalhos. Em seguida, foram tomados cerca de 25 g dos agregados que passaram pela peneira de 4 mm, os quais foram dispostos em placas de vidro para serem submetidos a um processo de umedecimento progressivo, com o auxílio de uma pisseta. Esse procedimento é necessário para evitar uma desagregação brusca do torrão, caso fosse submetido diretamente ao tamisamento úmido. Após o pré-umedecimento, as

amostras ficaram em repouso, por duas horas. Em seguida, foram levadas ao aparelho de Yooder (adaptado). O tamisamento úmido foi realizado por um período de 15 minutos, ao fim do qual todas as amostras, retidas nas diferentes peneiras (2 mm; 1 mm; 0,500 mm; 0,250 mm e 0,105 mm), foram colocadas em latas de alumínio e secadas a 105° C por um período de 48 horas. Para a obtenção do fator de correção, necessário no cálculo da distribuição dos agregados por peneira (Freire et al., 1967; Kiehl, 1979), foi determinada também a umidade residual da amostra seca ao ar.

Em 1999, no centro das parcelas, coletou-se amostras para análise granulométrica, para avaliação da quantidade de argila dispersa em água e da quantidade de carbono orgânico no solo. Em 2001, após a terceira aplicação do lodo de esgoto e terceiro cultivo de milho (Tabela 2 do Capítulo 1), foram coletadas cinco amostras por parcela em grade regular nos diferentes tratamentos, na profundidade de 0 a 10 cm, e submetidas a novas avaliações de DMP, ADA e CO.

Para a quantificação da argila dispersa em água, as amostras de solo foram peneiradas em malha de 2 mm. Vinte e cinco gramas do solo peneirado foram agitados manualmente com 150 ml de água destilada e em seguida colocados nos frascos do agitador orbital a 180 rpm durante 3 horas. Após a agitação, a mistura foi colocada em uma proveta, o volume foi completado para 1000 ml e fez-se nova agitação durante trinta segundos, com um bastão de vidro contendo em sua extremidade inferior um êmbolo de borracha com diâmetro um pouco inferior ao da proveta. Após estes procedimentos, a mistura foi deixada em repouso absoluto. Transcorrido o tempo para a sedimentação da argila, segundo a lei de Stokes, foram retirados, com uma pipeta, 50ml da solução a uma profundidade de 5 cm. As alíquotas foram transferidas para recipientes previamente pesados e levadas para secar a 105°C, determinando-se a massa de solo na suspensão.

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (Camargo et al., 1986) e de carbono orgânico segundo o método Walkley-Black modificado (Tedesco, 1995).

Resultados e Discussão

Em 1999, o DMP dos agregados foi de 4,3 mm nos primeiros 10 cm, decrescendo até 1,1 mm na profundidade de 120 cm, o que condiz com o tamanho médio dos agregados de um Latossolo. Essa variação do tamanho dos agregados esteve relacionada com a quantidade do carbono orgânico presente (20,0 g kg⁻¹ nos primeiros 10 cm, decrescendo até 8,1 g kg⁻¹ na maior profundidade). Em 2001, os dois lodos mostraram comportamento semelhante quanto ao efeito das doses no DMP (Fig. 1). Todos os tratamentos com lodo diminuíram o DMP em relação ao tratamento testemunha, indicando, aparentemente, um efeito deletério dos lodos sobre a estrutura do solo.

Associado aos tratamentos há um possível efeito da enxada rotativa utilizada na incorporação do lodo, pulverizando o solo a cada incorporação, ficando a dúvida se o sistema de preparo associado às doses de lodo não estaria mascarando os resultados, não permitindo assim a separação entre os efeitos da enxada rotativa e aqueles do lodo.

Não há números absolutos para interpretar a qualidade da estrutura por meio do DMP. De maneira geral, aceita-se como tendo baixa estabilidade, solos com diâmetro médio ponderado (DMP) abaixo de 0,5 mm. Tais solos tornam-se impermeáveis quando irrigados e formam crostas na superfície quando expostos aos impactos diretos das gotas de chuva. Solos com DMP superior a 0,5 mm são considerados relativamente resistentes ao esboroamento e à dispersão, sendo que, a permeabilidade à água e ao ar não se alterarão com um bom manejo (Bureau of Reclamation, 1967).

A quantidade média de argila dispersa em água oscilou entre 33,0 a 44,1% em 1999 e 21,5 a 32,7% em 2001, nos primeiros 10 cm do solo (Fig. 2). A argila dispersa em água sofreu um decréscimo de 1999 para 2001 (Fig. 1). Este decréscimo parece não estar ligado aos efeitos da enxada rotativa já que esta era usada a cada novo cultivo para a incorporação do lodo, sendo esta usada também nas parcelas testemunhas após a gradagem.

Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais da Agricultura

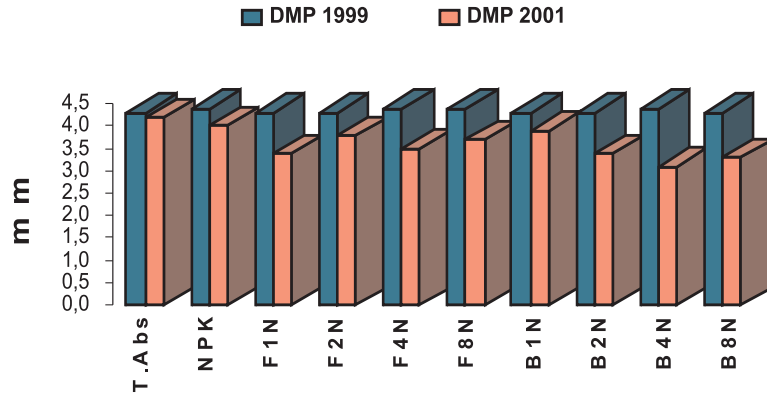


Fig. 1. Efeito dos lodos de esgotos das ETEs de Franca (F) e Barueri (B) sobre o Diâmetro Médio Ponderado (DMP) dos agregados do solo, na profundidade de 0 a 10 cm. Os dados de 1999 são de antes das aplicações dos lodos e os de 2001, após a terceira aplicação de doses crescentes (1N – dose recomendada; 2N, 4N e 8N – doses correspondentes a 2, 4 e 8 vezes a recomendada). T. Abs: testemunha absoluta; NPK: adubação mineral recomendada. Média de três repetições.

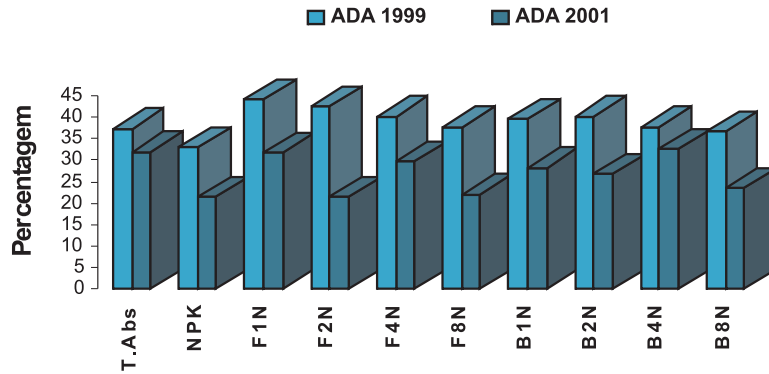


Fig. 2. Efeito dos lodos de esgotos das ETEs de Franca (F) e Barueri (B) sobre a argila dispersa em água (ADA), na profundidade de 0 a 10 cm. Os dados de 1999 são de antes das aplicações dos lodos e os de 2001 após a terceira aplicação de doses crescentes (1N – dose recomendada; 2N, 4N e 8N – doses correspondentes a 2, 4 e 8 vezes a recomendada). T. Abs: testemunha absoluta; NPK: adubação mineral recomendada. Média de três repetições.

Aspectos Físicos de um Solo Tratado com Lodo de Esgoto: Estabilidade de Agregados e Argila Dispersa em Água

O conteúdo de carbono orgânico (CO) teve comportamento distinto para os dois lodos em 2001 (Fig. 3). Para o lodo de Franca, o teor de CO foi diretamente proporcional à dose aplicada, porém para o de Barueri não houve este efeito. Em relação ao ano de 1999, em 2001 houve incremento de CO no solo (Fig. 3), mas este não é correlacionável a variação observada para o DMP.

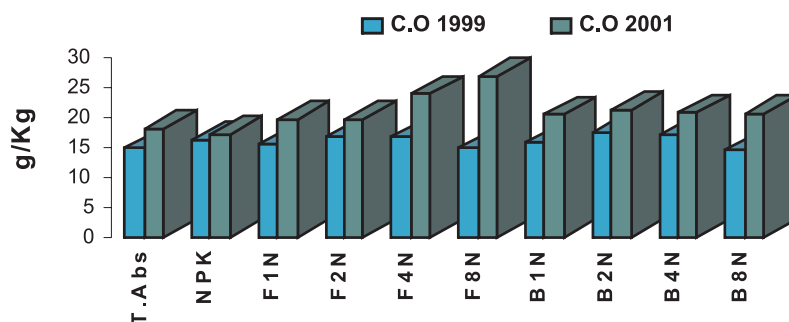


Fig. 3. Efeito dos lodos de esgotos das ETEs de Franca (F) e Barueri (B) sobre o teor de Carbono Orgânico (CO) no solo, na profundidade de 0 a 10 cm. Os dados de 1999 são de antes das aplicações dos lodos e os de 2001 após a terceira aplicação de doses crescentes (1N – dose recomendada; 2N, 4N e 8N – doses correspondentes a 2, 4 e 8 vezes a recomendada). T. Abs: testemunha absoluta; NPK: adubação mineral recomendada. Média de três repetições.

Vários fatores podem interferir na distribuição entre classes de agregados. Como os menores agregados são progressivamente mais difíceis de serem quebrados, Hadas (1987) e Dexter (1988) levantam a hipótese que a destruição dos agregados se dá dos maiores para os menores, sendo a dispersão da argila a última etapa da destruição dos agregados.

Entretanto, Stevenson (1982) e Oades e Waters (1991) mostraram que este tipo de destruição não ocorre em solos altamente intemperizados como os Oxisols (Latosolos), uma vez que a influência da matéria orgânica nestes solos é menor em comparação com a dos óxidos de ferro. Greenland et al. (1992) rejeitam tal hipótese e sugerem que a destruição diferenciada dos agregados em função do tamanho ocorre por que a matéria orgânica existente nos solos tropicais é de baixa qualidade e também ocorre em menor quantidade.

A estabilidade dos microagregados é, segundo Tisdall e Oades (1982), insensível às mudanças, seja no conteúdo de matéria orgânica, seja nas práticas de manejo. Os microagregados são muito estáveis porque eles estão ligados por persistente material húmico aromático associado com Fe e Al amorfos. Já a estabilidade dos macroagregados, por outro lado, varia com o conteúdo de carbono orgânico ou com o manejo do solo. Por essas razões, a estabilidade dos agregados maiores é transitória e dependente de agentes como raízes, hifas dos fungos e de polissacarídeos derivados da atividade biológica (plantas, macro e microbiota do solo) e da quantidade de matéria orgânica que lhe é acrescentada (Monreal et al., 1995).

Mas, apesar da maior parte da literatura falar dos efeitos benéficos da matéria orgânica sobre a estabilidade dos agregados, o aumento do carbono orgânico no solo pode também provocar dispersão de argilas. Este comportamento dispersivo foi mostrado por Emerson (1983) e Oades (1984). Mais recentemente, Mbagwu et al. (1993) verificaram que a adição de ácido húmico em solos causou aumento da dispersão de argila em Alfisol e em Ultisol. Este processo resulta da alta concentração de ácidos húmicos que, penetrando no retículo cristalino da argila, formam quelatos complexos com os cátions polivalentes, quebrando a frágil ligação eletrostática entre a argila e a matéria orgânica, deslocando as partículas de argila.

Este papel duplo da matéria orgânica no solo, ora agregando, ora dispersando o solo, leva a diferentes comportamentos, em diferentes situações, não sendo possível antever se as correlações entre quantidade de matéria orgânica e estabilidade de agregados serão positivas ou negativas. A ausência de minerais de argila expansíveis neste meio poderia também ser a razão da dispersão da argila.

A qualidade da matéria orgânica do lodo também interfere na agregação, como, em alguns casos, quando a matéria orgânica do lodo não incrementa a CTC do solo, o que deve afetar a dispersão de argilas.

Os resultados distintos observados para os dois lodos indicam a necessidade de maior detalhamento no estudo da influência do carbono de

Aspectos Físicos de um Solo Tratado com Lodo de Esgoto: Estabilidade de Agregados e Argila Dispersa em Água

cada tipo de lodo na estrutura do solo. Assim, após a quarta aplicação de lodo, os estudos da estabilidade versus carbono estarão sendo realizados em cada classe de agregados e o DMP será determinado por volume para estabelecimento de um índice de agregação.

Considerações Finais

Apesar do pouco tempo de utilização do lodo, já se verificou redução da argila dispersa em água no solo tratado com os lodos de esgoto. A dispersão da argila no solo é resultante de uma instabilidade estrutural ou problemas de manejo, assim esta redução pode ser considerada como um efeito benéfico. A influência da adição de materiais orgânicos ao solo sobre sua estrutura é lenta, conforme pôde ser observado nos dados apresentados. No entanto, efeitos distintos de acumulação de carbono no solo já puderam ser observados, entre os dois lodos, bem como sobre a formação de crosta. Assim, considerando-se já estar havendo um efeito acumulado de aplicações sucessivas durante três anos, são esperadas também alterações permanentes da estrutura do solo, a médio prazo. Para um maior detalhamento do comportamento da estabilidade estrutural do solo, será necessário separar possíveis efeitos do sistema de preparo do solo que está sendo utilizado. A enxada rotativa da forma em que vem sendo utilizada pode estar mascarando o efeito do lodo.

Referências

BUREAU OF RECLAMATION **Land classification techniques and standards.** Ser. 510. U.S.D.I.. 1967

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas,** Campinas, Instituto Agronômico, 94p. 1986.

Lodo de Esgoto: Impactos Ambientais da Agricultura

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 121-126, 1995.

CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B. Reações da matéria orgânica no solo. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo - Ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. cap.5, p.69-89.

CEGARRA, J. Utilização e manejo de lodos de águas residuales urbanas con fines agrícolas: solos ecuatoriales, materia orgánica do solo. **Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia do Solo**, v.12, n.1, p.151-173, 1983.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soil Tillage Res.**, v. 11, p. 199-238, 1988.

EMERSON, W.W. Interparticle binding. In *Soil, an Australian viewpoint*. Division of Soils, CSIRO, Melbourne. London: Academic Press, pp. 477-498. 1983.

FREIRE, O. **Agregação de solos, efeito da matéria orgânica, calagem, adubação e vegetação**. Piracicaba, ESALQ, 1967. 64 p. (Tese de Livre-Docência).

GREENLAND, D.J., WILD, A., ADAMS, D. "Organic matter dynamics in soils of the tropics - from myth to complex reality." In R. Lal and P.A. Sanchez (eds.) *Myths and science of soils of the tropics: proceedings of an international symposium sponsored by Division A-6 of the American Society of Agronomy, the World Association of Soil and Water Conservation Society, in Las Vegas, Nevada, 17 Oct. 1989*. SSSA Special Publication no. 29. Madison, Wisconsin: Soil Science Society of America, Inc. and American Society of Agronomy, Inc., pp. 17-33. (1992).

GUPTA, S.C.; DOWDE, R.H.; LARSON, W.E. Hydraulic and thermal properties of a sandy soil as influenced by incorporation of sewage sludge. **Soil Science Society of America Journal**, v.41, p.601-605, 1977.

HADAS, A. Long-term tillage practice effects on soil aggregation modes and strength. **Soil Science Society of America Journal.**, v. 51, p. 191-197, 1987.

KHALEEL, R.; REDDE, K.R.; OVERCASH, M.R. Changes in soil physical properties due to waste applications: a review. **Journal of Environmental Quality**, v.10, p.133-141, 1981.

Aspectos Físicos de um Solo Tratado com Lodo de Esgoto: Estabilidade de Agregados e Argila Dispersa em Água

KIEHL, E.J. **Manual de Edafologia – relações solo-planta**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres 1979. 264 p.

MARTENS, D.A.; FRANKENBERGER Jr., W.T. Modification of infiltration rates in a organic-amended irrigated soil. **Agronomy Journal**, v.84, p.707-717, 1992.

MBAGWU, J.S.C.; PICCOLO, A. Some physical properties of structural aggregates separated from organic waste-amended soils. **Biological Wastes**, v.33, p.107-121, 1990.

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

MONREAL, C.M.; SCHNITZER, M.; SCHULTEN, H.R.; CAMPPBELL C.A.; ANDERSON, D.W. Soil organic structures in macro and microaggregates of a cultivated brown chernozem. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 27, p. 845-853, 1995.

NOVOTNY, E.H.; MARTIN-NETO, L. Propriedades coloidais da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. cap.4, p.42-67.

OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: Mechanisms and implications for management. **Plant Soil**, v. 76, p.319-337, 1984.

OADES, J.M.; WATERS A.G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal Soil Reserch**, v. 29, p.815-828, 1991.

QUEIROZ NETO, J.P.; GROHMANN, F.; OLIVEIRA, J.B. Características analíticas dos agregados dos solos Terra Roxa (Latossolo Roxo) e Massapé (Podzólico Vermelho Amarelo Orto). **Bragantia**, v. 25, p.457-476, 1966.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: Genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley & Sons. 1982.

TEDESCO, M. J. GIANELLO, C.; BISSAN, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. (Boletim Técnico, 5).

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