

ÓXIDOS DE FERRO EM LATOSSOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS BRASILEIROS EM PLANTIO DIRETO⁽¹⁾

Luís de França da Silva Neto⁽²⁾, Alberto Vasconcellos Inda⁽³⁾, Cimélio Bayer⁽³⁾,
Deborah Pinheiro Dick⁽⁴⁾ & Alano Tiago Tonin⁽⁵⁾

RESUMO

O sistema plantio direto (SPD) altera a taxa dos processos que ocorrem no solo, porém pouco se conhece sobre sua influência na mineralogia de solos tropicais e subtropicais. Este estudo teve por objetivo avaliar o efeito do SPD na mineralogia dos óxidos de Fe pedogênicos e sua relação com a matéria orgânica do solo (MOS). Amostras de solos foram coletadas em 14 profundidades da camada superficial (0 a 0,20 m) de dois Latossolos sob SPD e sistema de preparo convencional (SPC), em áreas experimentais de longa duração, no sul do Brasil (Santo Ângelo, RS) e na região do Cerrado (Dourados, MS). A identificação mineralógica foi realizada por difração de raios X (DRX), sendo determinados os teores de Fe extraídos por DCB (Fed) e por oxalato de amônio (Feo) e os teores de carbono orgânico total (COT). Nos dois solos predominaram os minerais caulinita e hematita, e o SPD não afetou os teores médios de Fed, Feo, COT e a razão Feo/Fed na camada de 0–0,20 m, em comparação ao solo em SPC. Entretanto, no Latossolo subtropical (LVdf-1), com boa distribuição de chuvas durante o ano e temperaturas mais amenas, houve aumento dos teores de COT e da fração húmica na camada superficial do solo (0–0,03 m) sob SPD. Ademais, essas variáveis apresentaram relação positiva com os teores de Feo e razão Feo/Fed. Contrariamente, no Latossolo tropical (LVdf-2), com concentração das chuvas no verão (outubro a março), não houve efeito do SPD na distribuição do COT e das frações húmicas no solo. Neste solo, os teores de Feo e da razão Feo/Fed apresentaram relação positiva com a profundidade do solo e negativa com os teores de COT e da fração húmica. Provavelmente esses resultados são consequência do reordenamento dos óxidos de Fe, possivelmente a partir da dissolução reductiva da hematita e da maghemita nas camadas mais superficiais e da neoformação de óxidos de Fe de baixa cristalinidade nas camadas mais profundas.

Termos de indexação: dissolução, redução, hematita, frações húmicas, sistemas de preparo do solo.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em fevereiro de 2008 e aprovado em julho de 2008.

⁽²⁾ Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, Caixa Postal 15100, CEP 91501-970 Porto Alegre (RS). E-mail: luisdefranca@yahoo.com.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, UFRGS. E-mail: alberto.inda@ufrgs.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Físico-Química, Instituto de Química, UFRGS. E-mail: dpdick@iq.ufrgs.br

⁽⁵⁾ Estudante do Curso de Agronomia, UFRGS. E-mail: alanotonin@yahoo.com.br

SUMMARY: IRON OXIDES IN TROPICAL AND SUBTROPICAL BRAZILIAN OXISOLS UNDER LONG-TERM NO-TILLAGE

The no-tillage system (NT) affects the rate of soil processes, but little is known about its effect on the mineralogy of tropical and subtropical soils. This study aimed to evaluate the long-term effect of NT system on pedogenetic iron oxides and their relationship with soil organic matter (SOM) fractions. Soil samples were taken at 14 depths within the top 0,20 m soil layer from two clayey Oxisols under NT and conventional tillage (CT) systems of the experimental areas located near the counties of Santo Ângelo (RS State, Southern Brazil) and Dourados (MS State, Center-Western Brazil). The soil mineralogy was analyzed by X ray diffraction, and the contents of sodium dithionite-citrate-bicarbonate (Fed), ammonium oxalate (Feo) iron oxides, total organic carbon (TOC), and humic fractions were evaluated. Kaolinite and hematite were the predominant minerals in both soils, and the NT system had not effect on the mean concentration of Fed, Feo, TOC and the Feo/Fed ratio in the 0–0.20 m soil layer, in comparison with CT soil. However, in the soil in southern Brazil, under well-distributed annual rainfall and cooler temperatures in the winter, the TOC content and humine fraction in the surface layer (0–0.03 m) of NT soil were higher. These variables were also closely related with the Feo contents and Feo/Fed ratio. On the contrary, in the Oxisol under tropical conditions, with rainfall concentrated from October to March, no effect of the tillage system was observed on TOC and humic fractions of SOM contents. In this soil, the Feo content and Feo/Fed ratio were positively related to soil depth and negatively to TOC and humine contents. These results probably are a consequence of iron oxide rearrangements, possibly through the reductive dissolution of hematite and maghmite from soil surface layer, and neo-genesis of low crystalline iron oxides in the deeper soil layers.

Index terms: dissolution, reduction, hematite, humic fractions, management soil systems.

INTRODUÇÃO

A mudança do sistema de preparo convencional do solo (SPC) para o sistema plantio direto (SPD) tem alterado de forma significativa a qualidade de solos tropicais e subtropicais brasileiros (Mielniczuk et al., 2003). Estudos em experimentos de longa duração indicam efeitos positivos na recuperação e estabilização da estrutura (Costa et al., 2003), na redução da atividade de íons tóxicos às plantas (Ciotta et al., 2002), na disponibilidade de nutrientes (Duxbury et al., 1989) e na melhoria das condições bióticas favoráveis ao desenvolvimento vegetal (Tótola & Chaer, 2002). Por outro lado, pouco é o conhecimento sobre a influência do SPD na mineralogia de solos anteriormente manejados sob SPC.

Na camada superficial de solos (CSS) sob SPD, as novas condições pedoambientais incluem, em geral, incremento de matéria orgânica, aumento da umidade e do tempo de residência da água, além da diminuição da temperatura do solo (Salton & Mielniczuk, 1995; Costa et al., 2003). Essas mudanças indicam tendência de estabelecimento de um novo equilíbrio dinâmico do sistema solo, diante das alterações mineralógicas graduais que podem ocorrer (Karathanasis & Wells, 1989).

Os minerais óxidos de Fe são componentes importantes em solos tropicais e subtropicais e caracterizam-se como indicadores pedoambientais

sensíveis (Kämpf & Curi, 2000; Bigham et al., 2002). Em pedoambientes aeróbios, o modelo de formação dos óxidos de Fe prevê que estes minerais apresentam alta estabilidade termodinâmica e baixa solubilidade, persistindo no solo por longo período (Schwertmann & Taylor, 1989). Entretanto, aumentos no teor de matéria orgânica, umidade e atividade microbiana favorecem os principais mecanismos de dissolução e remobilização dos óxidos de Fe no ambiente pedogênico, os quais incluem reações de redução e de complexação (Schwertmann, 1991), cuja intensidade é dependente das condições meteorológicas, principalmente chuva e temperatura.

Em sedimentos transportados de condições oxidantes para redutoras, Schwertmann & Kämpf (1983) constataram, por meio de dissoluções seletivas e de difratometria diferencial de raios X, a dissolução de óxidos de Fe cristalinos (hematita e goethita), seguida da neoformação de formas de baixa cristalinidade (ferrihidrita) como consequência e indicativo do novo ambiente. Da mesma forma, a substituição recente (20–50 anos) da vegetação em florestas da Suíça e Itália determinou mudanças significativas na qualidade da matéria orgânica do solo. A rápida taxa de decomposição da vegetação introduzida aumentou o teor de Fe relativo a óxidos de Fe de baixa cristalinidade, bem como os valores da razão Feo/Fed (Zanelli et al., 2007).

Embora ainda não avaliados na CSS sob SPD, a remobilização de óxidos de Fe pedogênicos ou a depleção destes podem resultar em modificações no comportamento do solo, sobretudo daqueles que possuem elevados teores desses minerais, devido à importância que desempenham nas propriedades químicas e físicas do solo (Schwertmann & Taylor, 1989; Bigham et al., 2002). Considerando esses aspectos, este estudo objetivou determinar o teor e a distribuição do Fe relativo à totalidade dos óxidos de Fe pedogênicos (cristalinos e de baixa cristalinidade) e aos óxidos de Fe de baixa cristalinidade (principalmente ferrihidrita), bem como sua relação com os teores de C orgânico total e de frações húmicas da matéria orgânica ao longo da CSS de Latossolos subtropicais (Região Sul) e tropicais (Região Centro-Oeste), em áreas experimentais de longa duração sob SPD e SPC.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em amostras da CSS (0 a 0,20 m) de dois Latossolos Vermelhos distrofêricos (Embrapa, 2006) formados em ambientes distintos. OLVDf-1 localiza-se no Centro de Atividades Agrícolas e Florestais da Cooperativa Tritícola de Santo Ângelo (COTRISA), no município de Santo Ângelo, RS. O clima é do tipo Cfa, com temperaturas médias anuais de 19,5 °C e médias anuais de precipitação pluvial e evapotranspiração de 1.713 e 1.312 mm ano⁻¹, respectivamente (Ipagro, 1989). O LVdf-2 localiza-se na Estação Experimental da Embrapa Agropecuária Oeste, no município de Dourados, MS. O clima é do tipo Cwa, com temperaturas médias anuais de 22,2 °C e com médias anuais de precipitação pluvial e evapotranspiração, respectivamente, de 1.409 e 1.355 mm ano⁻¹ (Amaral et al., 2000), e ocorrência de estações seca e chuvosa (outubro a março), em que ocorre mais de 80 % do volume de chuva anual. Em ambas as áreas, os solos apresentam textura de argila ou muito argilosa e foram desenvolvidos a partir de produtos da alteração de basaltos da Formação Serra Geral, com contribuições do arenito Botucatu (Brasil, 1973; Streck et al., 2008).

As amostras de solo foram coletadas em experimentos de longa duração (25 anos no LVdf-1 e 18 anos no LVdf-2) em áreas sob SPD e SPC, cultivados na sucessão de culturas trigo (*Triticum aestivum*) e soja (*Glycine max*). Anteriormente à instalação dos experimentos, em ambas as áreas, o solo foi cultivado por mais de 10 anos sob SPC na sucessão trigo/soja. Em cada solo foram abertas trincheiras em repetições experimentais (três no LVdf-1 e duas no LVdf-2), nas quais foram coletadas camadas de 0,01 m até 0,10 m e camadas de 0,025 m de 0,10 a 0,20 m de profundidade. Amostras compostas foram formadas a partir da mistura daquelas coletadas nas repetições experimentais. As amostras foram secas

ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com malha de 2 mm, para obtenção da fração TFSA.

A fração argila foi coletada por sedimentação após dispersão das partículas por ultra-som, conforme método descrito por Inda Junior et al. (2007). A fração argila em suspensão foi floculada com HCl 0,1 mol L⁻¹, lavada com solução álcool/água na proporção 1:1 e seca em estufa a 60 °C.

O Fe relativo à totalidade dos óxidos de Fe pedogênicos (Fed) foi extraído com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio a 80 °C, em duas extrações sucessivas (Mehra & Jackson, 1960). O Fe referente aos óxidos de Fe de baixa cristalinidade (Feo) foi extraído com oxalato de amônio 0,2 mol L⁻¹ a pH 3 no escuro (Schwertmann, 1964). Os teores de Fe solubilizados foram determinados por espectroscopia de absorção atômica (EAA). A concentração dos minerais óxidos de Fe foi realizada pelo tratamento da fração argila com solução de NaOH 5 mol L⁻¹ a quente (Kämpf & Schwertmann, 1982).

As análises de difratometria de raios X (DRX) (Difratômetro Siemens D 5000, com radiação de CoK α e filtro de Fe, em voltagem de 40 kV e corrente de 25 mA) foram realizadas em lâminas não orientadas da fração argila total (intervalo de 4 a 80 ° 2 θ) e da fração óxidos de Fe concentrada (intervalo de 20 a 80 ° 2 θ) de amostras compostas, representativas da camada de 0 a 0,20 m dos solos.

A determinação do C orgânico total (COT) do solo foi realizada por combustão seca em analisador de carbono SHIMADZU VCSH. A matéria orgânica do solo (MOS) foi fracionada quimicamente em amostras de oito profundidades da CSS (0–0,01, 0,02–0,03, 0,04–0,05, 0,06–0,07, 0,08–0,09, 0,10–0,125, 0,15–0,175 e 0,175 a 0,20 m), conforme sua solubilidade em meio ácido e meio básico (Dick et al., 1998), obtendo-se fração de compostos orgânicos de baixo peso molecular extraídos no pré-tratamento com HCl 0,1 mol L⁻¹; e fração de substâncias húmicas solúveis em NaOH 0,5 mol L⁻¹ (SH), que é composta por ácidos fúlvicos (AF), solúveis em meio ácido, ácidos húmicos (AH), insolúveis em meio ácido, e fração húmica, insolúvel em meio ácido ou alcalino (HU). O teor de cada fração foi estimado pela concentração de C do solo contido em cada uma delas. Foram determinados os teores de C nos extratos de HCl (C_{HCl}), no extrato alcalino (C_{SH}) e nos extratos de AF (C_{AF}), pelo método espectrofotométrico (Dick et al., 1998). Os teores de C referentes às demais frações húmicas foram obtidos por diferença conforme segue: C_{AH} = C_{SH} - C_{AF} e C_{HU} = COT - C_{HCl} - C_{SH}.

A análise das relações entre os teores de Fe relativos à totalidade dos óxidos de Fe pedogênicos e dos óxidos de Fe de baixa cristalinidade com a profundidade da CSS e os teores de COT e frações húmicas foi realizada por meio de regressões lineares com auxílio do programa SigmaStat 3.5.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dois solos apresentaram composição mineralógica semelhante na fração argila total (Figura 1a). Com base na intensidade das reflexões, a caulinita (0,722 nm) foi o mineral dominante em ambos os solos, com reflexões menos intensas de 1,442 nm (minerais 2:1 ou 2:1:1), gibbsita (0,486 nm) e magnetita/maghemita (0,294 nm). A reflexão do quartzo (0,334 nm), mais intensa no difratograma do LVdf-1, contribui com material arenoso para a formação desse solo, devido à proximidade de afloramentos do arenito Botucatu (Streck et al., 2008). Na fração óxidos de Fe concentrada ocorre predomínio da hematita, com menor proporção de maghemita (0,294 nm) e reflexos pouco intensos de goethita (0,417 nm) (Figura 1b).

Os teores médios de Fe determinados ao longo da CSS do LVdf-1, relativos à totalidade dos óxidos de Fe pedogênicos (Fed) e aos óxidos de Fe de baixa cristalinidade (Feo), foram de 112,2 e 4,6 g kg⁻¹ e de 110,2 e 5,2 g kg⁻¹, respectivamente, para o SPC e o

SPD. No LVdf-2, os teores médios de Fed e Feo foram de 112,3 e 6,9 g kg⁻¹ e de 123,3 e 8,4 g kg⁻¹, respectivamente, para o SPC e o SPD. Para os dois solos, os valores médios da razão Feo/Fed (< 0,07) indicaram a predominância de óxidos de Fe cristalinos (hematita e maghemita) com baixos teores de ferrihidrita (Schwertmann et al., 1982), corroborando os resultados das análises de DRX e de estudo anteriores nos solos (Inda Junior et al., 2007). Considerando que ambos os solos foram formados principalmente, a partir de produtos de alteração de rochas basálticas e apresentaram elevados conteúdos de argila (711 g kg⁻¹ no LVdf-1 e 596 g kg⁻¹ no LVdf-2), os resultados da DRX associados ao teor de Fe na forma de óxidos de Fe pedogênicos (Fed) são indicativos de um grau de intemperismo avançado e de expressiva semelhança genética dos dois solos avaliados.

Conforme esperado, nos solos em SPC os teores de Fed, Feo e a razão Feo/Fed não mostraram relação com a profundidade da CSS (Figura 2), devido à intensa mobilização do solo realizada neste sistema de manejo. Contudo, no LVdf-2 sob SPD, os teores de Fed e Feo

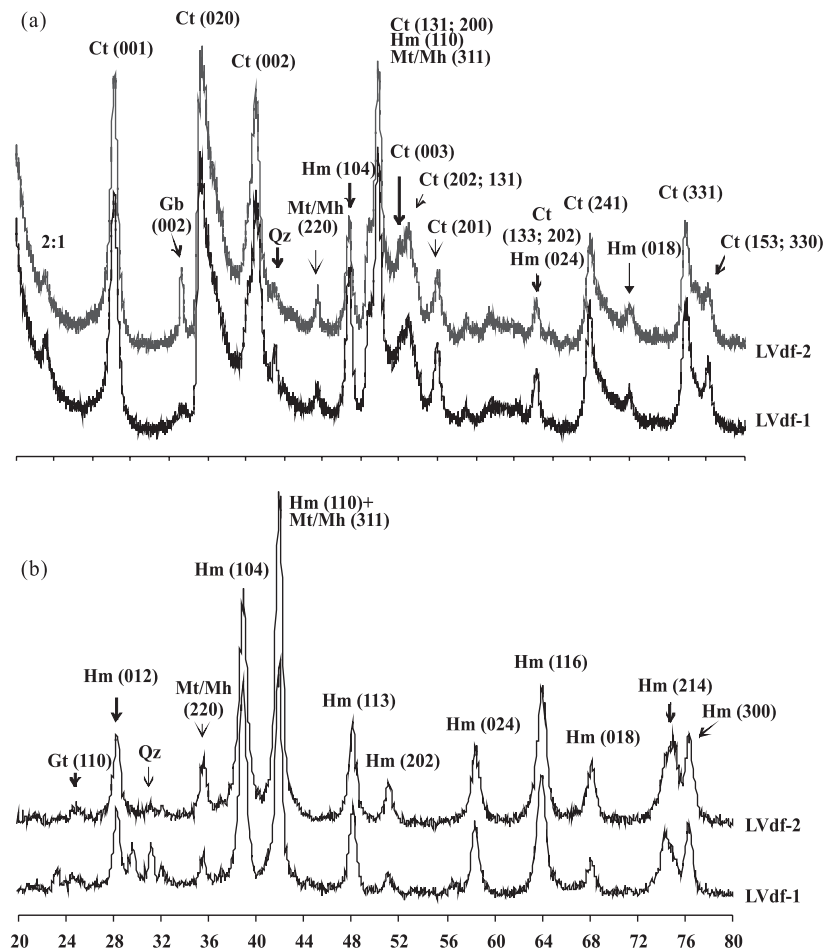


Figura 1. Difratogramas de raios X das frações argila total (a) e óxidos de Fe concentrada (b) dos solos LVdf-1 e LVdf-2. Ct: caulinita; Gb- gibbssita; Qz: quartzo; Mt- magnetita; Mh: maghemita; Hm: hematita; Gt- goethita.

apresentaram relações positivas com a profundidade (Figuras 2d,e), e as equações de regressão indicaram incrementos de 18 % (21,1 g kg⁻¹) nos teores de Fed e 52 % (3,6 g kg⁻¹) nos teores de Feo entre a porção superior (0–0,01 m) e a porção inferior (0,175–0,20 m) da CSS. Além de uma mobilização de Fe ao longo do perfil indicado por esses resultados, a ocorrência de um reordenamento desses minerais após o estabelecimento do SPD neste solo é indicada pelo aumento significativo da razão Feo/Fed (46 %) com o aumento da profundidade da CSS (Figura 2f). Esse processo pode ser devido à concentração intensa de chuvas no verão nesta região, que propiciaria microambientes redutores em condições não-perturbadas do SPD, os quais levariam à dissolução dos óxidos de Fe e posterior carreamento para camadas mais profundas e neoformação. No solo LVdf-1, esse comportamento não foi observado no SPD, possivelmente devido à regularidade da distribuição de chuvas, bem como à menor temperatura média anual, comparativamente ao ambiente do solo LVdf-2.

Nos dois solos, os teores médios de COT foram semelhantes entre os sistemas de manejo (20,1 e 21,5 g kg⁻¹ no LVdf-1 e 18,0 e 17,7 g kg⁻¹ no LVdf-2, respectivamente para o SPC e o SPD) (Figura 3). Ao longo da CSS, o efeito mais expressivo do SPD sobre o teor de COT foi verificado na camada de 0 a 0,03 m do LVdf-1 (Figura 3a). No LVdf-2, a distribuição dos teores de COT na CSS foi semelhante sob ambos os sistemas de manejo (Figura 3 c), concordando com o verificado por Roscoe & Buurman (2003) em experimentos de longa duração em solos da região do Cerrado. Esse comportamento é atribuído à dificuldade no estabelecimento de culturas para a cobertura do solo durante o período seco (abril a setembro), o que diminui o aporte de resíduos no solo. Já no solo LVdf-1, onde o clima é favorável à cultura de cobertura de inverno, dependendo da cultura, o aporte de resíduos vegetais pode ser superior a 15–20 t ha⁻¹ ano⁻¹ (Mielniczuk et al., 2003).

No LVdf-1 sob SPD, o teor de Feo e a razão Feo/Fed apresentaram relação positiva com o teor de COT ao longo da CSS (Figura 4a,b). Esse favorecimento

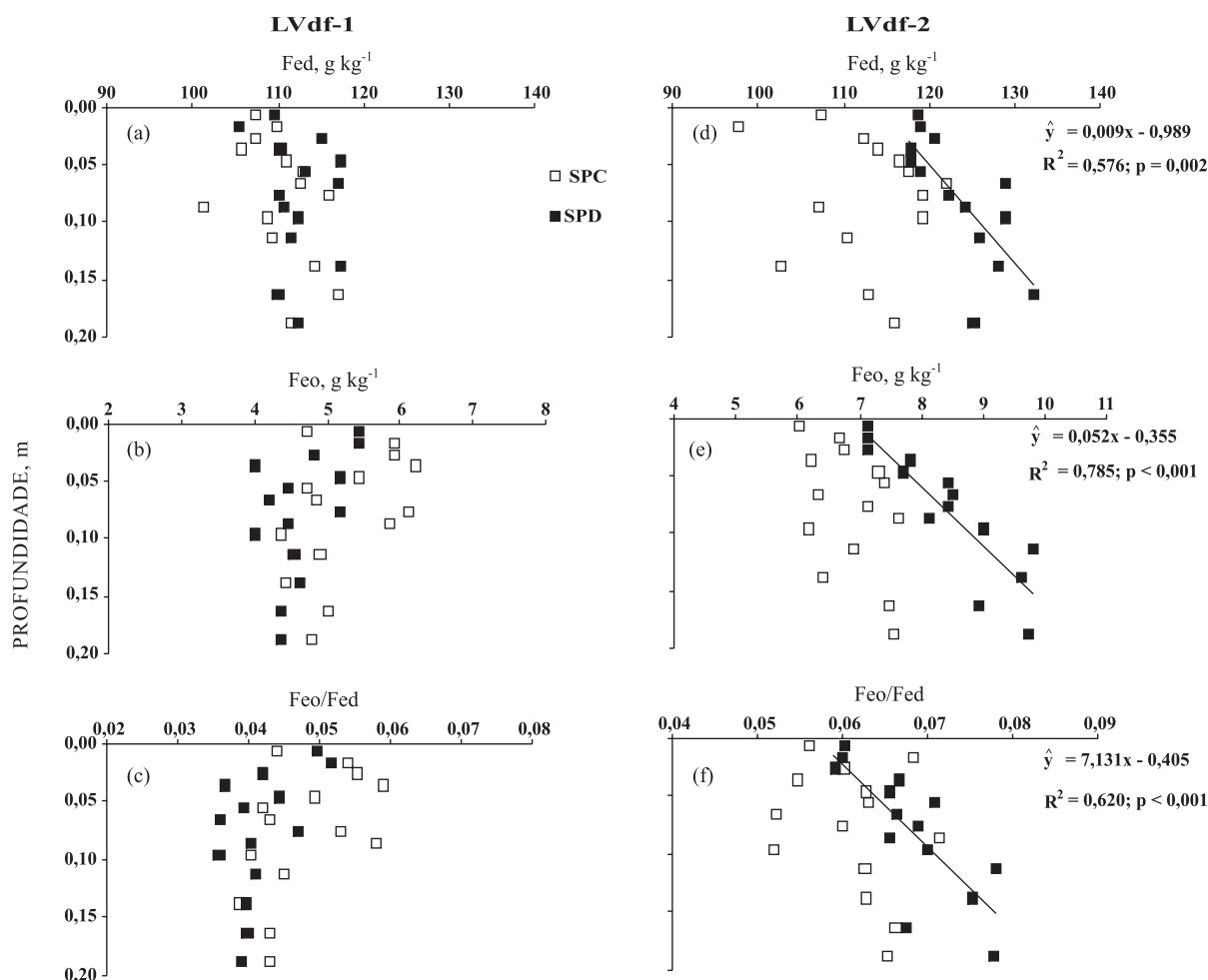


Figura 2. Teores de óxidos de ferro cristalinos (Fed), de óxidos de ferro de baixa cristalinidade (Feo) e a razão Feo/Fed da fração argila ao longo da camada superficial dos solos LVdf-1 (a, b, c) e LVdf-2 (d, e, f), em sistema de preparo convencional (SPC) e sistema plantio direto (SPD).

da MOS à formação de óxidos de Fe de baixa cristalinidade tem sido freqüentemente verificado tanto entre solos formados em ambientes distintos como entre horizontes de um mesmo perfil de solo (Motta & Kämpf, 1992; Dick et al., 2005b) e está de acordo com o modelo que descreve a formação e a distribuição dos óxidos de Fe pedogênicos (Schwertmann & Taylor, 1989). Por outro lado, no LVdf-2 sob SPD, onde se constataram alterações na distribuição dos óxidos de Fe na CSS, o teor de Feo e a razão Feo/Fed apresentaram

relação negativa com o conteúdo de COT ao longo da CSS (Figura 4c,d), confirmando a tendência de reordenamento desses minerais na CSS de solos conduzidos por vários anos em SPD, conforme sugerem outros autores (Kämpf & Curi, 2000; Bigham et al., 2002). Possivelmente, neste ambiente as condições pedoambientais no verão (maior umidade e temperatura), especialmente no solo sob SPD, seriam fatores mais importantes na dinâmica dos óxidos de Fe do que as reações com a MOS.

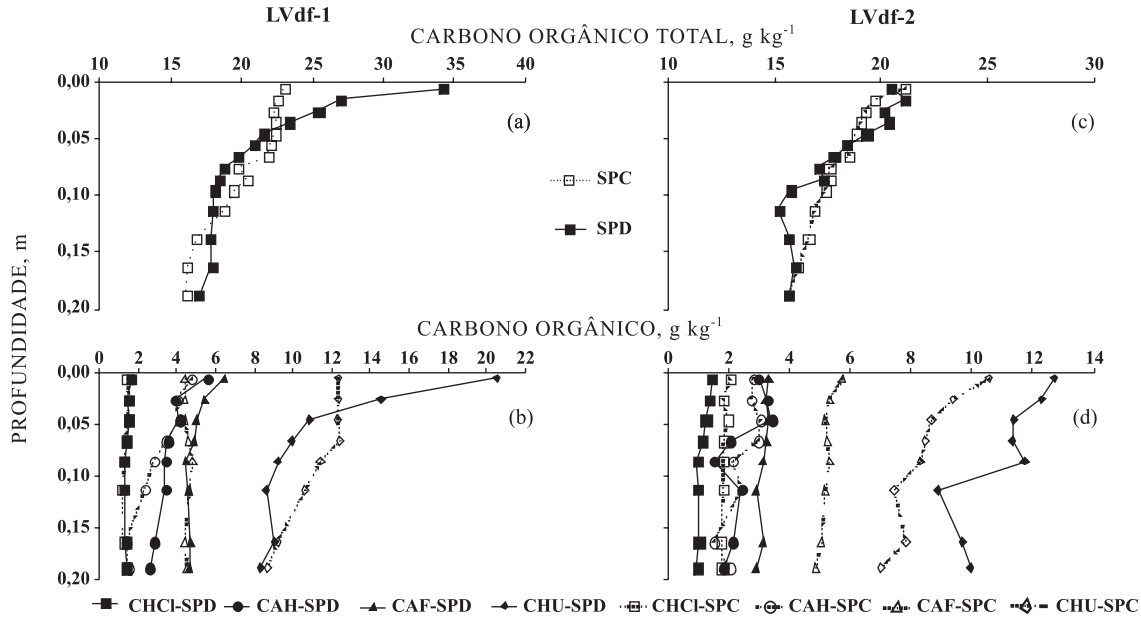


Figura 3. Teores de carbono orgânico total e das frações húmicas da matéria orgânica do solo ao longo da camada superficial dos solos LVdf-1 (a, b) e LVdf-2 (c, d), em sistema de preparo convencional (SPC) e sistema plantio direto (SPD). C_{HCI}- compostos orgânicos de baixo peso molecular; C_{AH}- ácidos húmicos; C_{AF}- ácidos fúlvicos; C_{HU}- fração residual insolúvel.

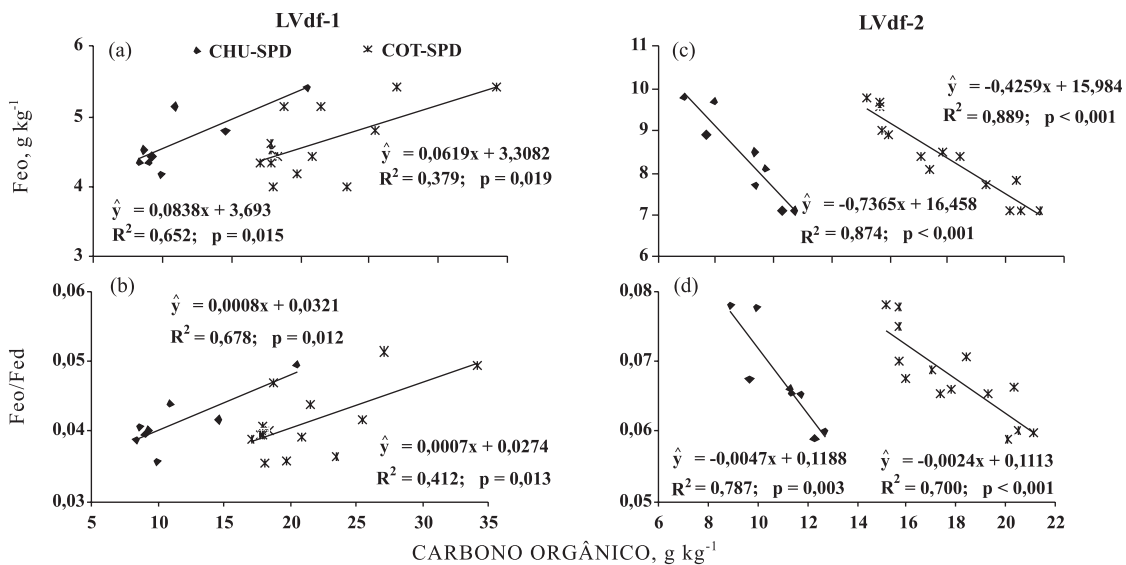


Figura 4. Relações dos teores de carbono orgânico total (COT) e da fração húmica (CHU) com os teores de óxidos de ferro de baixa cristalinidade (Feo) e a razão Feo/Fed da fração argila ao longo da camada superficial dos solos LVdf-1 (a, b) e LVdf-2 (c, d), em sistema plantio direto (SPD). C_{HU}- fração residual insolúvel.

Nos dois solos e sob ambos os sistemas de manejo, ocorreu predominância da fração humina (48 a 68 % do COT), seguida das frações de AF (19 a 31 % do COT), de AH (9 a 21 % do COT) e de compostos orgânicos de baixo peso molecular (5 a 10 % do COT) (Figura 3b,d). Maiores teores de huminas em comparação com as demais frações da MOS são observados em solos tropicais e atribuídos tanto à hidrofobicidade da humina como à forte interação organo-mineral (Dick et al., 2005a).

No LVdf-1, os teores de C_{HCL} , de C_{AH} e de C_{AF} não variaram relevantemente ao longo do perfil e nos diferentes manejos (teores médios de 1,4 g kg⁻¹ para C_{HCL} , 3,3 g kg⁻¹ para C_{AH} e 4,7 g kg⁻¹ para C_{AF}). Em contrapartida, a fração humina decresceu em profundidade no SPD, sendo mais abundante do que no SPC até os 0,03 m. O comportamento apresentado por esta fração neste solo é semelhante ao do COT (Figura 3a) e mostra que o incremento de MOS no SPD na camada mais superficial verifica-se devido ao aumento da fração humina. Por outro lado, no LVdf-2, com exceção da fração humina, o SPD praticamente não alterou a distribuição das frações húmicas ao longo da CSS, porém afetou o seu teor em relação ao SPC (Figura 3d). Sob SPD, diminuíram os teores médios de C_{HCL} (1,9 para 1,0 g kg⁻¹) e de C_{AF} (5,2 para 3,1 g kg⁻¹) e aumentou o teor médio de C_{HU} (8,5 para 11,0 g kg⁻¹), enquanto o teor de AH praticamente não diferiu entre os tratamentos (teor médio de C_{AH} = 2,5 g kg⁻¹) (Figura 3c,d). A ausência de revolvimento neste solo promove o maior contato da MOS com a matriz inorgânica, propiciando a formação de interações organominerais e conduzindo ao aumento da fração humina, em comparação ao solo sob SPC. Esse processo seria favorecido também por reações de desidratação do solo no período mais seco. No solo sob SPC, as condições mais oxidantes levam à maior ocorrência de AF, que representa a fração mais oxidada das substâncias húmicas, e de compostos orgânicos de baixo peso molecular, oriundos da ação microbiana (Novotny et al., 1999).

Nos dois solos sob SPD, a variação do teor de humina mostrou estreita relação com o teor de Feo e a razão Feo/Fed ao longo da CSS (Figura 4). Entretanto, confirmando o verificado anteriormente para os teores de COT, as relações foram positivas no LVdf-1, onde não ocorreram alterações nas formas extraíveis dos óxidos de Fe entre os sistemas de manejo, e negativas no LVdf-2, onde foi observado um reordenamento desses minerais na CSS sob SPD.

Apesar de a MOS (COT e CO nas frações húmicas) ter sido sensível à mudança no sistema de manejo em ambos os solos, as alterações observadas por meio do fracionamento químico não parecem ter sido expressivas a ponto de conduzir o reordenamento na mineralogia dos óxidos de Fe verificado no LVdf-2 sob SPD. A utilização de ferramentas mais sofisticadas, como a ressonância paramagnética eletrônica (EPR) (Bayer et al., 2003) e a ressonância magnética nuclear

(RMN) (Dick et al., 2005a), pode ajudar a esclarecer diferenças na composição, funcionalidade e, conseqüentemente, na qualidade e reatividade da MOS entre sistemas de manejo e suas interações com os óxidos de Fe pedogênicos.

Considerando que no ambiente pedogênico a cinética da dissolução redutiva dos óxidos de Fe é superior à da dissolução complexativa (Schwertmann, 1991), uma hipótese para o reordenamento dos óxidos de Fe no LVdf-2 sob SPD seria a dissolução, predominantemente, redutiva da hematita e maghemita nas camadas mais superficiais da CSS, a qual estaria diminuindo gradualmente os teores de Fed em direção à superfície; e a neoformação de óxidos de Fe de baixa cristalinidade (Ferrihidrita) em camadas mais profundas. A expressão desse processo somente no solo LVdf-2 estaria relacionada à condição climática, onde a precipitação pluvial concentrada em um período do ano favoreceria a ocorrência de microsítios saturados e a temperatura elevada favoreceria a atividade microbiológica (Schwertmann, 1991). Nesse sentido, uma alternativa promissora seria a simulação desse processo sob condições controladas em laboratório.

CONCLUSÃO

O sistema plantio direto não influenciou os teores médios de Fe relativo a totalidade dos óxidos de Fe pedogênicos (Fed) e dos óxidos de Fe de baixa cristalinidade (Feo) nos Latossolos tropical e subtropical. Contudo, a distribuição dessas formas de Fe e da razão Feo/Fed no Latossolo tropical apresentou relação positiva com a profundidade do solo e negativa com os teores de C orgânico total e da fração humina. Isso sugere a ocorrência de reordenamento dos óxidos de Fe nesse solo, possivelmente por meio da dissolução redutiva da hematita e da maghemita nas camadas mais superficiais e da neoformação de ferrihidrita nas camadas mais profundas. Esse fenômeno é favorecido pelo acúmulo de chuvas num período restrito do ano (seis meses), e não há evidências de sua relação com a dinâmica da matéria orgânica do solo, como indicado pelos teores similares de C orgânico total e das frações húmicas em ambos os sistemas de manejo. No Latossolo subtropical, houve aumento dos teores de C orgânico total e do C orgânico na fração humina em sistema plantio direto, e estes foram relacionados positivamente aos teores de Feo e razão Feo/Fed, os quais não se diferenciaram em profundidade no perfil (0–0,20 m) do solo, comparativamente ao sistema de preparo convencional.

AGRADECIMENTOS

Aos pesquisadores Júlio César Salton e Luiz Carlos Hernani (Embrapa-CPAO) e a João Becker e Amando

Dalla Rosa (Cooperativa Triticola Santo Ângelo), pela disponibilização das áreas experimentais sob sua responsabilidade para realização deste estudo. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), pelo auxílio financeiro no âmbito dos projetos PROADE (0522212) e PRONEX (04/850.0).

LITERATURA CITADA

- AMARAL, J.A.M. Levantamento semidetalhado dos solos do campo experimental de Dourados, da Embrapa Agropecuária Oeste, município de Dourados, MS. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2000. 68p. (Documentos, 22)
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L. & SAAB, S.C. Diminuição da humificação da matéria orgânica de um Cambissolo Húmico em plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:537-544, 2003.
- BIGHAM, J.M.; FITZPATRICK, R.W. & SCHULZE, D. Iron oxides. In: DIXON, J.B. & SCHULZE, D.G. Soil mineralogy with environmental applications. Madison, Soil Science Society of America, 2002. p.323-366. (Book Series, 7)
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30)
- CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A. & WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:1055-1064, 2002.
- COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V. & WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:527-535, 2003.
- DICK, D.P.; ÁVILA, L.G. & KNICKER, H. Huminas de horizonte A de quatro Latossolos brasileiros sob vegetação nativa: Quantificação e caracterização. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 6., Rio de Janeiro, 2005. Anais. Rio de Janeiro, 2005a.
- DICK, D.P.; GOMES, J. & ROSINHA, P.B. Caracterização de substâncias húmicas extraídas de solos e de lodo orgânico. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:603-611, 1998.
- DICK, D.P.; GONÇALVES, C.N.; DALMOLIN, R.S.D.; KNICKER, H.; KLAMT, E.; KNABNER, I.K. & MARTIN NETO, L. Characteristics of soil organic matter of different Brazilian Ferralsols under native vegetation as function of soil depth. *Geoderma*, 124:319-333, 2005b.
- DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S. & DORAN, J.M. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES J.M. & UEHARA, G., eds. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Honolulu, University of Hawaii, 1989, p.33-67.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2006. 412p.
- INDA JUNIOR, A.V.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; BOENI, M.; SALTON, J.C. & TONIN, A.T. Variáveis relacionadas à estabilidade de complexos organo-minerais em solos tropicais e subtropicais brasileiros. *Ci. Rural*, 37:1301-1307, 2007.
- INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS - IPAGRO. Seção de Ecologia Agrícola. Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1989. 102p.
- KÄMPF, N. & CURTI, N. Óxidos de ferro: Indicadores de ambientes pedogênicos. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V. H. & SCHAEFER, C.E.G.R. Tópicos em ciência do solo, Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1. p.107-138.
- KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. The 5 M-NaOH concentration treatment for iron oxides in soil. *Clays Clay Miner.*, 30:401-408, 1982.
- KARATHANASIS, A.D. & WELLS, K.L. A comparison of mineral weathering trends between two management systems on a catena of loess-derived soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:582-588, 1989.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Proc. Clays Clay Miner. Conf.*, 7:317-327, 1960.
- MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F. & DEBARBA, L. Manejo de solos e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURTI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M.; LOPES, A.S. & ALVAREZ V., V.H. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.209-248.
- MOTTA, P.E.F. & KÄMPF, N. Iron oxide properties as support to soil morphological features for prediction of moisture regimes in Oxisols of Central Brazil. *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd*, 155:385-390, 1992.
- NOVOTNY, E.H.; BLUM, W.E.H.; GERZABEK, M.H. & MANGRICH, A.S. Soil management system effects on size fractionated humic substances. *Geoderma*, 92:87-109, 1999.
- ROSCOE, R. & BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. *Soil Till. Res.*, 70:107-119, 2003.
- SALTON, J.C. & MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). *R. Bras. Ci. Solo*, 19:313-319, 1995.
- SCHWERTMANN, U. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch extraktion mit ammoniumoxalat-lösung. *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenkd*, 105:194-202, 1964.

- SCHWERTMANN, U. Solubility and dissolution of iron oxides. *Plant Soil*, 130:1-25, 1991.
- SCHWERTMANN, U. & KÄMPF, N. Óxidos de ferro jovens em ambientes pedogenéticos brasileiros. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:251-255, 1983.
- SCHWERTMANN, U.; SCHULZE, D.G. & MURAD, E. Identification of ferrihydrite in soils by dissolution kinetics, differential x-ray diffraction and mössbauer spectroscopy. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:869-875, 1982.
- SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R.M. Iron oxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. *Minerals in soil environments*. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.379-438.
- STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E. & PINTO, L.F.S. *Solos do Rio Grande do Sul*. 2.ed. Porto Alegre, EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222p.
- TÓTOLA, M.R. & CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, W.V. & COSTA, L.M., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.195-276,
- ZANELLI, R.; EGLI, M.; MIRABELLA, A.; GIACCAI, D. & ABDELMOULA, M. Vegetation effects on pedogenetic forms of Fe, Al and Si and on clay minerals in soils in Southern Switzerland and Northern Italy. *Geoderma*, 141:119-129, 2007.