

## ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO<sup>1</sup>

RAFAEL PELLOSO DE CARVALHO<sup>2\*</sup>, OMAR DANIEL<sup>3</sup>, ANTONIO CLAUDIO DAVIDE<sup>4</sup>,  
FÁBIO RÉGIS DE SOUZA<sup>5</sup>

**Resumo** - A retirada da cobertura vegetal original e a implantação de culturas, aliadas a práticas de manejo inadequadas, normalmente provocam a deterioração da qualidade física e química dos solos. O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações ocorridas nos atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico a partir de seus diferentes sistemas de uso e manejo. Foram selecionados quatro agroecossistemas (floresta de eucalipto, pastagem extensiva, integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta) e um ecossistema preservado (vegetação nativa de cerrado) localizados na Fazenda Modelo II em Ribas do Rio Pardo (MS). As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, em delineamento inteiramente casualizado, com seis parcelas de 150 m<sup>2</sup> em cada sistema. Os sistemas de integração lavoura-pecuária e lavoura-pecuária-floresta proporcionaram as maiores contribuições na melhoria da fertilidade do solo. Houve uma relação antagonista entre os atributos físicos e químicos do solo quanto à avaliação da sustentabilidade, sendo os atributos químicos mais afetados que os atributos físicos.

**Palavras-chave:** Sistemas de integração. Plantio direto. Cerrado. Análise multivariada.

## INFLUENCE OF DIFFERENT SYSTEMS OF USE AND MANAGEMENT IN THE ATTRIBUTES OF A PHYSICAL AND CHEMICAL OF A TYPIC QUARTZIPSAMMENT

**ABSTRACT** - The removal of the original vegetation and deployment of crops, combined with inadequate management practices, usually cause the deterioration of the physical and chemical quality of the soil. The aim of this study was to evaluate the changes in the physical and chemical attributes of a Typic Quartzipsamment from different land use systems and soil management. Four agroecosystems were selected: eucalyptus forest, extensive grazing, crop-livestock integration and integrated crop-livestock-forest, and an ecosystem preserved vegetation of native cerrado, located on Fazenda Modelo II in Ribas do Rio Pardo, MS. Soil samples were collected at depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm in a completely randomized design, with six plots of 150 m<sup>2</sup> on each system. The integrated crop-livestock and integrated crop-livestock-forest provided the biggest contribution in the improvement of soil fertility. There was an antagonistic relationship between physical and chemical soil as sustainability evaluation, and chemical attributes had to be more affected than physical.

**Key words:** Integration systems. Tillage. Cerrado vegetation. Multivariate analysis.

\*Autor para correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 11/03/2014; aceito em 08/12/2014.

<sup>2</sup>Professor Doutor em Fitotecnia, IFMS, *Campus* Ponta Porã-MS, CEP: 79.909-000, [pellosodecarvalho@yahoo.com.br](mailto:pellosodecarvalho@yahoo.com.br).

<sup>3</sup>*In memoriam*, Professor Doutor em Engenharia Florestal, FCA/UFMG, Dourados-MS, Cidade Universitária, CEP:79.804-970. [omar.daniel@pq.cnpq.br](mailto:omar.daniel@pq.cnpq.br).

<sup>4</sup>Professor Doutor em Engenharia Florestal DCF/UFLA, Lavras-MG, *Campus* Universitário, CEP: 37.200-000, [acdavide@ufla.br](mailto:acdavide@ufla.br).

<sup>5</sup>Professor Doutor em Agronomia DEPA/UNIR, Rolim de Moura-RO, CEP 76940-000, [fabioagronomo@yahoo.com.br](mailto:fabioagronomo@yahoo.com.br).

## INTRODUÇÃO

A supressão da cobertura vegetal original e a subsequente implantação de culturas, aliada a práticas de manejo inadequadas, promovem o rompimento do equilíbrio entre o solo e o meio, modificando suas propriedades químicas, físicas e biológicas, limitando sua utilização agrícola e tornando-o mais suscetível à erosão (CENTURION et al., 2001).

Na ecologia da restauração busca-se restabelecer um ecossistema que ocupava originalmente um determinado local por meio da recuperação de suas funções (PRIMACK; RODRIGUES, 2001). Todavia, não é sempre possível o retorno de um ecossistema degradado à sua condição original devido, entre outras causas, ao estado de degradação a que foi submetido (ARATO, 2003).

Estimativas recentes têm sugerido que pelo menos a metade das áreas de pastagens em regiões ecologicamente importantes, como a Amazônia e o Brasil Central, estariam em processo de degradação ou degradadas (DIAS-FILHO, 2007). A recuperação da produtividade dessas áreas deve ser cada vez mais prioritária, uma vez que as restrições ambientais tendem a reduzir as possibilidades de contínua incorporação de áreas ainda inalteradas para exploração agropecuária.

Nesse contexto, a adoção de sistemas conservacionistas de manejo e uso do solo tem se apresentado como uma alternativa para contribuir com a sustentabilidade econômica e ambiental dos agroecossistemas (BARRETO et al., 2006). Os sistemas de integração entre agricultura, pecuária e floresta em associação ao plantio direto tem se mostrado uma boa opção nesse sentido (KLUTHCOUSKI et al., 2003), principalmente em solos de extrema fragilidade, como os arenosos, visto que possibilita a manutenção e/ou melhoria nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (CARNEIRO et al., 2009).

No solo, existem diversas interrelações entre seus atributos que controlam os processos e os aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço. Qualquer modificação nessas relações pode alterar diretamente sua estrutura e, conseqüentemente, sua fertilidade, com reflexos nos agroecossistemas (CUNHA et al., 2012), podendo promover prejuízos à qualidade do solo e à produtividade das culturas.

O sucesso de um projeto de recuperação de área degradada pode ser avaliado por meio de indicadores de recuperação, entre eles físicos e químicos, os quais têm sido recomendados por diversos autores (Araújo, 2007; CARNEIRO et al., 2009). Através destes indicadores, é possível definir se determinado projeto necessita sofrer novas interferências ou até mesmo ser redirecionado, visando acelerar o processo de sucessão e de restauração das funções da vegetação implantada (MARTINS, 2001).

Dois diferentes enfoques têm sido propostos para o estabelecimento de critérios de referência:

solo de área sob vegetação natural, por representar as condições ecológicas de estabilidade do ambiente; e parâmetros agrônômicos que maximizem a produção e conservem o meio ambiente (SANTANA; BAHIA FILHO, 2002).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações ocorridas nos atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico cultivado a mais de 15 anos com pastagens degradadas e submetido a diferentes formas de uso e manejo do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Modelo II, localizada no município de Ribas do Rio Pardo (MS) (21° 09' S 53° 15' W e altitude de 380 m), onde foram coletadas amostras de solo no final do período chuvoso (maio de 2011) em quatro agroecossistemas diferentes e um ecossistema natural preservado, segundo a descrição:

a) Vegetação Nativa de Cerrado (CE): área de reserva legal (927 ha), sem interferência antrópica, caracterizada por vegetação predominantemente arbórea, serapilheira espessa, com cobertura de copa variando de 50 a 70% e altura média de 5 a 8 metros.

b) Pastagem Extensiva (PE): pastagem cultivada com *Urochloa brizantha* (280 ha), cujo plantio ocorreu no ano de 1985 e desde então não recebeu fertilizantes e corretivos. O sistema de pastejo de bovinos é do tipo contínuo, com lotação de 1,5 unidades animal (UA) por hectare.

c) Floresta de Eucalipto (EUC): povoamento homogêneo (180 ha) com árvores clonadas do híbrido urograndis (GG100) e plantadas no verão do ano de 2005, em espaçamento 3m x 2m.

d) Integração Agricultura-Pecuária (IAP): na safra 2004/05 foi iniciado o plantio de soja. O solo recebeu 4 Mg.ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, 0,5 Mg.ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola e fosfatagem (0,15 Mg de P ha<sup>-1</sup>). Na safra 2005/06 fez-se novamente o plantio de soja em Sistema Plantio Direto (SPD), com adubação no plantio de 0,1 Mg de P ha<sup>-1</sup> e 0,1 Mg de K ha<sup>-1</sup> parcelado entre plantio e cobertura. Em 2007 e 2008 foi implantado pastagem com *U. Brizantha* cv Piatã utilizada para pastejo, sem realização de adubações. Em 2009/10 fez-se novamente o plantio direto de soja. Na safrinha 2010 ,foi plantado crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) consorciada com de *U. brizanta* cv. Piatã para formação de palhada. Em 2010/11 foi feito o plantio direto de soja seguido, na safrinha de 2011, de milheto.

e) Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF): foi implantado em dezembro de 2006, com correções e adubações idênticas à IAP. Densidade de 416 árvores ha<sup>-1</sup>, espaçamento de 12 m entre linhas únicas de eucalipto, híbrido urograndis, clone H13. Plantou-se, nos dois primeiros anos, soja nas entrelinhas das árvores (safra 2006/07 e 2007/08) e nas entressafras *U. brizantha* para cobertura de solo e formação de palhada. Em maio de 2008 foi introdu-

zido *U. brizantha* cv. Marandu, estabelecendo, de forma definitiva, um sistema silvipastoril. Foram realizadas adubações de manutenção anual no período chuvoso com 45 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e lotação média anual de 2,5 UA ha<sup>-1</sup>.

Os quatro agroecossistemas considerados foram implantados sobre um Neossolo Quartzarênico Órtico típico cultivado a mais de 15 anos com pastagens degradadas, apresentando granulometria de 109 g kg<sup>-1</sup> (argila), 23 g kg<sup>-1</sup> (silte) e 868 g kg<sup>-1</sup> (areia), com relevo plano.

Todas as áreas se encontravam inseridas dentro de um raio médio de 3,5 quilômetros e expostas às mesmas condições edafoclimáticas. A região é caracterizada por apresentar clima, segundo a classificação de Köppen, do tipo tropical chuvoso de Savana, subtipo Aw, com temperatura média máxima mensal de 29,1°C e média mínima mensal de 17,7°C. A precipitação pluvial média anual é de 1.566,7 mm, com ocorrência bem definida de período seco durante os meses mais frios (maio a setembro) e período chuvoso durante os meses de verão (outubro a março).

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, disposto em um esquema fatorial de 5 (uso e manejo) x 3 (profundidades). As parcelas foram representadas por seis áreas de 150 m<sup>2</sup> em cada sistema de manejo e uso do solo, com distância de 500 m entre as mesmas. Para as avaliações químicas, foram retiradas cinco amostras simples aleatórias dentro de cada parcela, perfazendo uma amostra composta para as profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, enquanto que para as análises físicas coletadas amostras indeformada dentro de cada parcela, nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm, totalizando seis repetições por sistema de manejo e uso do solo para cada profundidade.

Todas as amostras foram armazenadas em caixas térmicas e levadas imediatamente para o Laboratório de Solos da Universidade Federal de Grand Dourados, em Dourados (MS).

Para as determinações dos atributos físicos foram utilizadas amostras com estrutura preservada em cilindros metálicos com 5,57 cm de diâmetro e 4,1 cm de altura nas três profundidades trabalhadas. Para cada parcela e profundidade foi utilizado o valor médio como representativo.

Após preparo das amostras elas foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de dois terços da altura do anel e realizado o procedimento para obtenção da microporosidade (MIP), macroporosidade (MAP), porosidade total (VTP) e densidade do solo (Ds) pelo método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997).

As amostras foram novamente saturadas e submetidas à tensão de 0,01 MPa, em câmaras de Richards (KLUTE, 1986). Esta tensão geralmente tem sido aplicada no solo para posterior determinação da resistência à penetração (RP) (SMITH et al., 1997). Quando as amostras atingiram o equilíbrio

nessa tensão foi medida a RP, utilizando-se um penetrógrafo eletrônico com velocidade constante de penetração de 1 cm min<sup>-1</sup>, com diâmetro de base da haste de 4 mm e semiângulo de 30° (SERAFIM et al., 2008).

Foram descartados 5,0 mm das extremidades das amostras visando eliminar o efeito periférico da amostra. A frequência de leituras de RP correspondeu à coleta de um valor a cada 0,25 s, obtendo-se 800 leituras por amostra, sendo utilizado o valor médio.

Os atributos químicos pH(CaCl<sub>2</sub>), Al<sup>3+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, P assimilável, acidez potencial (H + Al) e teor de matéria orgânica (MO) disponíveis foram determinados segundo métodos descritos em EMBRAPA (1997). A partir dessas determinações, calculou-se a CTC efetiva do solo (t), a CTC potencial a pH 7,0 (T), a soma de bases (SB), a porcentagem de saturação por alumínio (m%) e a porcentagem de saturação por bases (V%).

Os efeitos dos sistemas de manejo e uso do solo sobre seus atributos físicos e químicos, em cada profundidade, foram verificados a partir da análise de variância e a diferença entre as médias avaliadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Como análise complementar, foi realizada as técnicas de análise multivariada, envolvendo todas as variáveis em estudo, a partir da qual foram utilizados os valores médios de seis repetições aleatórias de cada sistema de manejo e uso em três profundidades. Esses valores foram padronizados e submetidos à análise de agrupamentos (AA) e à análise de componentes principais (ACP).

Para representar as análises de agrupamentos (AA) foram construídos dendrogramas por meio da distância euclidiana, considerando como nível de similaridade para separação de grupos o ponto de corte (linha de corte) em 80% do valor máximo da distância de formação dos agrupamentos.

Na matriz de fatores, extraída por componentes principais, foram selecionadas as variáveis com cargas fatoriais maiores que 0,7, destinadas para a análise de agrupamentos e realizada para o conjunto de variáveis físicas e químicas.

Os tratamentos (usos e profundidades) e as variáveis (características físicas e químicas do solo) foram transformadas em coordenadas que correspondem à sua projeção nos eixos de ordenação ou autovetores, representando o peso de cada parcela ou variável sobre o eixo, as quais podem ser vistas como equivalentes ao grau de correlação destas com o eixo em questão (ANDERSON, 1958; MELÉM JUNIOR et al., 2008).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os diferentes usos e manejo do solo demonstraram haver interação significativa (P<0,01) com a profundidade daquele para as variáveis densidade do solo (Ds), macroporosidade (MAP) e resistência à

penetração (RP), permitindo constatar que, de maneira geral, houve diminuição na qualidade física dos solos dos agroecossistemas estudados em relação à vegetação nativa do cerrado (Tabela 1).

Os atributos volume total de poros (VTP) e microporosidade (MIP) não apresentaram interação

significativa, porém verificou-se diferença significativa entre profundidades e tipos de uso e manejo para MIP e entre tipos de uso e manejo para VTP (Tabela 1).

**Tabela 1.** Médias de densidade do solo (Ds), macroporosidade (MAP), microporosidade (MIP), volume total de poros (VTP) e resistência à penetração (RP) de um Neossolo Quartzarênico, obtidos em três profundidades e cinco sistemas de manejo e uso do solo, Fazenda Modelo II (MS).

Uso <sup>(2)</sup>	Ds (kg dm <sup>-3</sup> )			MAP (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )			MIP (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )			VTP (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )			RP (Mpa)		
	Profundidade (cm) <sup>(1)</sup>														
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
CE	1,15Aa	1,31Ba	1,33Ba	0,27Ac	0,28Ac	0,29Ac	0,22Bab	0,19Aab	0,20ABa	0,50Ac	0,47Ab	0,49Ac	0,09Aa	0,05Aa	0,08Aa
PE	1,60Bbc	1,55ABbc	1,50Ab	0,15Aa	0,18Aab	0,21Bab	0,25Bc	0,24ABc	0,21Aa	0,40Aab	0,42Aa	0,43Ab	0,59Bc	0,53Bd	0,31Ab
EUC	1,51Ab	1,52Ab	1,51Ab	0,22Ab	0,22Ab	0,23Ab	0,19Aa	0,18Aa	0,19Aa	0,42Ab	0,41Aa	0,42Aab	0,19Aab	0,18Aab	0,20Aab
IAP	1,58Abc	1,70Bd	1,67ABc	0,18Aab	0,15Aa	0,16Aa	0,23Abc	0,23Ac	0,20Aa	0,41Ab	0,39Aa	0,39Aa	0,29Ab	0,49Bcd	0,35ABb
ILPF	1,65Ac	1,65Acd	1,59Abc	0,13Aa	0,16ABa	0,19Bab	0,23Abc	0,22Abc	0,20Aa	0,37Aa	0,38Aa	0,40Aab	0,47Bc	0,34ABbc	0,29Ab
CV(%)	404			1256			803			545			31,12		

(1) Letras minúsculas comparam usos nas colunas. Letras maiúsculas comparam profundidades nas linhas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %. (2) CE: vegetação nativa de cerrado; PE: pastagem extensiva; EUC: floresta de eucalipto; IAP: integração agricultura pecuária; ILPF: integração lavoura pecuária floresta; e CV: coeficiente de variação.

A constatação da alteração na estrutura do solo, com sensível diminuição da macroporosidade (MAP) e porosidade total (VTP) e aumento da resistência a penetração (RP) e densidade do solo (Ds), além de provocar alteração no fluxo de água no solo, no fluxo de nutrientes e na atividade microbiana atua, conseqüentemente, no desenvolvimento das culturas e no processo erosivo, que se intensifica na medida que a capacidade de infiltração diminui e o solo fica mais suscetível ao efeito do impacto das gotas de chuva (ALVARENGA; DAVIDE, 1999). Observa-se, na Tabela 1, que a interferência nos atributos físicos foi intensificada quando a forma de uso do solo foi associado ao efeito do pisoteio pelo gado ao uso de máquinas agrícolas (ILPF e IAP).

Mesmo havendo alteração da densidade do solo (Ds) em relação à vegetação nativa de cerrado (CE), os valores encontrados foram menores que o índice crítico (1,75 kg dm<sup>-3</sup>) para o crescimento radicular em solos arenosos (CORSINI; FERRAUDO, 1999).

O maior valor médio de Ds foi verificado na camada de 5-10 cm na integração agricultura-pecuária (IAP). Este sistema, aliado ao CE, foram os

únicos a apresentarem valores de Ds superiores nas duas camadas mais profundas estudadas em relação à camada superficial, situação já esperada para o ecossistema CE devido ao elevado acúmulo de biomassa vegetal na superfície do solo. Para o agroecossistema IAP é provável que esse padrão tenha se dado devido ao rearranjo das partículas do solo nos primeiros anos de cultivo com a implantação do sistema de plantio direto, resultando em aumento na Ds. No entanto, com a consolidação do sistema, ocorreu aumento nos teores de C orgânico nas camadas superficiais (0-5 cm) e, com isso, a diminuição na densidade do solo (Tabela 1). Resultados semelhantes foram observados por Tormena et al. (1998).

Corroborando com as indicações de Tormena et al. (2002), a macroporosidade (MAP) e a porosidade total (VTP) foram as variáveis mais afetadas pelos sistemas de uso da terra, constatado pelos maiores valores de F obtidos na ANOVA.

Nos sistemas ILPF e PE a redução média do volume de macroporos (MAP) em relação ao CE foi de 41,8% e 36,1% e da porosidade total (VTP) de 21,18% e 14,55%, respectivamente. Esses resultados foram superiores aos obtidos por Silva et al. (2005)

em Neossolo Quartzarênico, onde verificaram reduções de 19% para VTP e 26,4% para MAP na área sob pastagem, quando comparado com áreas que não sofreram ação antrópica.

A redução observada na relação entre MAP e MIP, que originalmente era de 1,4 (CE) e que após ação antrópica chegou a 0,74 (ILPF), 1,18 (EUC), 0,76 (PE) e 0,77 (IAP) fez com que o VTP do solo diminuísse e a densidade do solo ( $D_s$ ) aumentasse. Entretanto, o aumento da proporção de microporos nestes tipos de solos mais arenosos poderá, dentro de certos limites, melhorar a distribuição e dimensão dos poros adequados para a entrada, movimento e retenção de água e ar para atender às necessidades das culturas.

A esse respeito, Klein (2002) afirmou que para diversos objetivos, tais como o movimento e o armazenamento de água e gases, fluxo e retenção de calor e desenvolvimento do sistema radicular a determinação somente da porosidade total fornece informações de importância limitada. Deste modo, a avaliação da distribuição dos poros na matriz do solo é de fundamental importância, visto que de acordo com a distribuição dos diferentes tamanhos dos poros pode haver restrição do fluxo de água no solo.

Ribeiro et al. (2007), ao determinarem a distribuição de poros em seis classes de solos em amostras com estrutura indeformada, verificaram maior diversidade de tamanho de poros em Neossolo Quartzarênico, justificando que apesar deste solo ser particularmente arenoso a pequena quantidade de argila encontrada para o mesmo apresentou elevado grau de flocculação, sugerindo também que a fração areia fina e silte desse solo tendem a se arranjar de forma a estabelecerem um contato face a face, gerando uma estrutura mais adensada, na qual os grãos de areia fina e silte ocupam os espaços formados pela areia mais grossa, fazendo com que predominem no solo poros pequenos (MIP).

Não houve diferença significativa para microporos (MIP) entre os sistemas de manejo e uso nas profundidades de 5-10 e 10-20 cm. Isso indica que para estas profundidades os MIP foram pouco influenciados pelo manejo do solo. Esta observação permite sugerir que a porcentagem de microporos, originalmente existentes no solo, oscila em menor grau com o manejo adotado quando comparados aos MAP ou o VTP. No entanto, verificou-se aumento significativo dos MIP na profundidade de 0-5 cm para PE em relação às camadas mais profundas. Provavelmente, isso se deve à readequação das partículas do solo propiciado pelo pisoteio dos animais.

Os dados obtidos para a resistência à penetração (RP), apresentados na Tabela 1, também mostraram diferenças entre os diversos sistemas e profundidades. Os maiores valores ocorreram nas profundidades de 0-5 e 5-10 no sistema de pastagem extensiva e foram significativamente maiores do que na camada de 10-20 cm, possivelmente em função da interferência do pisoteio dos animais na estrutura do solo das

camadas mais superficiais. Detectou-se padrão semelhante na ILPF para esta característica. Por outro lado, não foi verificada diferença significativa para profundidades no plantio de eucalipto (EUC) e na vegetação nativa de cerrado (CE), refletindo o longo período em que esses solos permanecem sem sofrer processos de mobilização.

Da mesma forma que para os atributos  $D_s$  e VTP, os valores de resistência à penetração evidenciam haver estreita relação com a intensidade de uso do solo, ou seja, quanto maior a intensidade de uso mais compactação, confirmando relatos de outros autores (SECCO et al., 2004; BEUTLER et al., 2007). Entretanto, os valores de RP encontrados no presente estudo ficaram abaixo do preconizado como crítico (2,0 MPa, Taylor et al., 1966), embora ainda não haja consenso sobre os níveis críticos ou sustentáveis para esse atributo, refletindo sua variabilidade com relação às condições de umidade do solo e à diversidade de procedimentos metodológicos, conforme discutido por Camargo e Alleoni (1997).

No que diz respeito às características químicas, nas condições naturais, o Neossolo Quartzarênico (NQ) sob cerrado não demonstra ser capaz de promover produções economicamente compensadoras, pois quimicamente não favorecem o desenvolvimento da maioria das culturas comerciais exigentes em nutrientes. Contrário ao que ocorreu com as propriedades físicas, nas quais foram observadas (Tabela 2) substanciais aumentos nos teores de nutrientes ao desenvolvimento das culturas, bem como diminuição da acidez e do teor de Al trocável nos sistemas de manejo e uso mais intensivos e diversificados, como o IAP e ILPF, quando comparados aos demais.

As variáveis que se referem à acidez do solo (pH,  $H^+$ Al e Al) nas três profundidades consideradas apresentaram diferença estatística entre os diferentes sistemas de uso e manejo do solo estudado. O solo em sistema CE registrou acidez muito elevada (pH = 3,93) e pobreza em bases (0,26  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), refletindo sua baixa fertilidade natural (Tabelas 2 e 3). Segundo Theodoro et al. (2003), nesses solos precipitações intensas ao longo dos anos promoveram grande lixiviação das bases, permanecendo no complexo de troca, predominantemente, os cátions H e Al.

Os maiores valores de pH sempre ocorreram nas camadas mais superficiais do solo nos sistemas de manejo IAP, ILPF e EUC, respectivamente, indicando o efeito da calagem antes da implantação das culturas, o que é confirmado pela redução do teor de Al e aumento de Ca e Mg.

A ausência de Al no solo na camada de 0-10 cm detectada na IAP (Tabela 2) possivelmente pode ser atribuída ao aumento do pH, reduzindo a solubilidade do Al, como também não se descarta a provável reação de complexação do Al com compostos orgânicos, depositados em maiores quantidades no solo em plantios diretos. A complexação pela matéria orgânica foi demonstrada por Miyazawa et al.

(1992).

As áreas sob vegetação nativa de Cerrado (CE) e pastagem extensiva (PE) foram as que mais se assemelharam no tocante aos nutrientes analisados, apresentando maiores teores de H+Al e Al e

menor concentração de Ca, Mg, K e P em relação às demais áreas manejadas, ficando a área de plantio de eucalipto em patamar intermediário, o que está coerente, pois se trata de solos originalmente distróficos.

**Tabela 2.** Médias de pH(CaCl<sub>2</sub>), Alumínio (Al), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) de um Neossolo Quartzarênico obtidos nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm em diferentes sistemas de manejo e uso do solo, Fazenda Modelo II (MS).

Uso <sup>(2)</sup>	pH (CaCl <sub>2</sub> )			Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )		
	Profundidade (cm) <sup>(1)</sup>											
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
CE	3,94Aa	3,94Aa	3,92Aa	0,86Ac	0,84Ac	0,92Ac	0,10Aa	0,10Aa	0,10Aa	0,10Aa	0,10Aa	0,10Aa
PE	4,16Aa	4,10Aab	4,04Aab	0,70Ac	0,74Ac	0,82Abc	0,26Aab	0,16Aa	0,14Aa	0,20Cab	0,14Ba	0,10Aa
EUC	4,26Aa	4,12Aab	4,08Aab	0,68Ac	0,78Ac	0,70Ab	0,44Bbc	0,26Aa	0,18Aa	0,40Bc	0,28Ab	0,22Ab
IAP	5,84Bb	5,16Ac	4,88Ac	0,00Aa	0,02Aa	0,16Aa	1,80Cd	1,26Bc	0,88Ac	0,74Cd	0,46Bc	0,28Ab
ILPF	4,38Aa	4,40Ab	4,38Ab	0,34Ab	0,30Ab	0,30Aa	0,64Ac	0,66Ab	0,58Ab	0,28Ab	0,28Ab	0,26Ab
CV(%)	5,66			20,14			22,33			24,48		

(1) Letras minúsculas comparam usos entre colunas. Letras maiúsculas comparam profundidades entre linhas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %. (2) CE: vegetação nativa de cerrado; PE: pastagem extensiva; EUC: plantio de eucalipto; IAP: integração agricultura pecuária; ILPF: integração lavoura pecuária floresta; e CV: coeficiente de variação.

**Tabela 3.** Valores médios de hidrogênio mais alumínio (H+Al), potássio (K), fósforo (P) e matéria orgânica (MO) de um Neossolo Quartzarênico obtidos nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm em diferentes sistemas de manejo e uso do solo, Fazenda Modelo II (MS).

Uso <sup>(2)</sup>	H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			K (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			P (mg dm <sup>-3</sup> )			MO (g kg <sup>-1</sup> )		
	Profundidade (cm) <sup>(1)</sup>											
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
CE	8,18Bc	6,83Ad	6,57Ac	0,079Bb	0,061ABab	0,056Aa	2,98Aa	2,08Aa	0,1Aa	21,12Bc	14,61Ac	15,02Ab
PE	7,78Bc	5,85Acd	5,15Ab	0,063Aab	0,073Ab	0,058Aa	1,54Aa	1,66Aa	1,42Aa	15,01Bb	13,89ABbc	11,29Aa
EUC	5,57Ab	5,43Abc	4,99Ab	0,043Aa	0,035Aa	0,034Aa	3,76Aa	2,46Aa	2,52Aa	14,03Aab	11,92Aabc	10,97Aa
IAP	2,13Aa	2,87Aa	3,2Aa	0,060Aab	0,046Aa	0,043Aa	24,24Bb	20,78Bb	9,64Ab	11,35Aa	10,04Aa	8,69Aa
ILPF	4,46Ab	4,28Ab	4,46Aab	0,071Bb	0,06ABab	0,043Aa	30,26Cb	23,86Bb	6,64Ab	10,83Aa	10,63Aab	8,80Aa
CV(%)	13,72			27,15			42,21			16,03		

(1) Letras minúsculas comparam usos nas colunas. Letras maiúsculas comparam profundidades nas linhas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %. (2) CE: vegetação nativa de cerrado; PE: pastagem extensiva; EUC: plantio de eucalipto; IAP: integração agricultura pecuária; ILPF: integração lavoura pecuária floresta; e CV: coeficiente de variação.

Estes dados evidenciam que a intensificação do manejo neste tipo de solo provocou acréscimos nos níveis de macronutrientes e diminuição da acidez do solo, indicando melhoria dos atributos químicos do solo em relação ao não antropizado. Dessa forma, pode-se dizer que os sistemas de integração (IAP e ILPF) foram os que apresentaram características de maior sustentabilidade, no que se refere aos atributos químicos do solo. Os demais tipos de manejo apresentaram efeito degradativo na concentração dos nutrientes.

Entretanto, resultados contraditórios foram observados por Centurion et al. (2001) em Latossolo Vermelho Eutrófico típico, onde verificaram degradação dos atributos químicos, independente da cultura utilizada, em relação ao solo natural. Isso indica haver diferenças nos resultados promovidos por diferentes sistemas de manejo e uso na qualidade dos atributos físico-químicos dependendo do tipo de solo trabalhado.

A baixa CTC apresentada em condições naturais pelo NQ deve estar relacionada com o baixo teor de cátions trocáveis e às perdas de nutrientes pouco retidos nos sítios de troca apresentados pelos sistemas de manejo mais intensivos. Isso reforça que estes tipos de solos devem ser manejados com critérios rigorosos, a fim de atingirem seu máximo potencial produtivo, sem provocar degradação (Carneiro et al., 2009).

Os teores de P observados nos sistemas ILPF e IAP foram significativamente ( $p < 0,01$ ) maiores para as profundidades de 0-5 e 5-10 cm e em relação às demais áreas. Os valores indicam que ocorreram aplicações de altas doses de adubos fosfatados naqueles ambientes resultando no aumento do fluxo difusivo de P no solo. Esse fato pode ser discutido em relação ao entendimento de Godinho et al. (1997), de que com o aumento da dose de fósforo haverá sempre um aumento do coeficiente de difusão do elemento devido à saturação progressiva da superfície de adsorção, o que resultará no aumento da concentração do elemento.

Os solos mais arenosos, de maneira geral, apresentam um fluxo difusivo de P maior, uma vez que sua resistência a mudanças no fator intensidade de P é menor que nos solos argilosos, cujo fato pode estar relacionado à maior energia de adsorção dos solos argilosos (BASTOS et al., 2008).

Outro fator que concorre para a obtenção de altos teores de P no solo é o seu suprimento via matéria orgânica, proporcionado pela liberação causada pela elevação do pH, além daquele que foi adicionado pela adubação. A disponibilidade de P na presença de ácidos orgânicos foi confirmada por Iyamuremye e Dick (1996).

No entanto, os teores de P no solo não apresentaram diferenças estatísticas entre as áreas CE, PE e EUC e entre as diferentes profundidades avaliadas, obtendo classificação limitante quanto à disponibilidade deste nutriente de acordo com o teor de argila

do solo ( $109 \text{ g kg}^{-1}$ ). A explicação desses baixos teores de P na PE e na EUC é devido ao fato destas áreas não terem recebido mais adubações fosfatadas desde sua implantação no campo.

Segundo Bayer (1992), os sistemas que apresentam reduzido revolvimento do solo, a exemplo da pastagem e do plantio de eucalipto, acarretam maior concentração de P disponível na camada superficial, além da estratificação com redução acentuada na medida que aumenta a profundidade, fato esse não verificado neste trabalho.

Para o atributo matéria orgânica (MO) foram observadas diferenças significativas entre as profundidades na pastagem extensiva (PE) e na vegetação nativa (CE), sendo os valores mais elevados registrados para as camadas mais superficiais do solo (Tabela 3). Possivelmente, essa superioridade se deve ao predomínio de gramíneas na área sob pastagem plantada e à diversidade e quantidade de vegetação no cerrado nativo, os quais proporcionam maior aporte de biomassa à superfície do solo.

Quanto à diferença ocorrida entre os sistemas de uso e manejo verificou-se que os maiores teores de MO ocorreram no CE, sendo estatisticamente superior à pastagem extensiva (PE) e ao plantio de eucalipto (EUC), os quais não diferiram entre si. Os menores valores médios foram apresentados pelos IAP e ILPF. Os resultados diferem daqueles encontrados por Alvarenga e Davide (1999) e Araújo et al. (2007), os quais constataram que áreas de pastagem não diferiram estatisticamente de áreas de Cerrado, indicando se tratar de um ambiente altamente conservador de matéria orgânica. A constatação dessas alterações citadas se deve principalmente pelas diferenças nas condições ambientais locais, pelos tipos de espécies vegetais consideradas e o tipo de solo cultivado.

Já na área sob plantio de eucalipto, apesar do grande volume de serapilheira, o teor de MO foi relativamente baixo, provavelmente em razão da pequena superfície específica externa e da alta relação C:N desses resíduos. Zinn et al. (2002), em estudo com plantio de pinus, também verificaram reduções significativas dos teores de MO, comparado à área de Cerrado nativo, na profundidade de 0-5 cm, não sendo observadas diferenças nas profundidades subjacentes.

As médias obtidas para a soma de bases (SB) dos tipos de manejo refletiram o comportamento das bases (Ca, Mg, K) no solo em resposta aos manejos adotados. A maior SB detectada na forma de manejo IAP, que apresentou, conseqüentemente, as maiores CTC efetiva e saturação por base (Tabela 4), está relacionada ao aumento do pH e dos teores de Ca, Mg e K fornecidos via corretivos e adubação química.

Os resultados encontrados para a capacidade de troca catiônica (CTC) mostraram tendência contrária a MO, com valores superiores para a área de IAP, na camada superior (0 a 5 cm). Isso demonstra

que os maiores índices médios de matéria orgânica apresentada pelo CE não foram suficientes para assegurar maiores valores de CTC quando comparados às outras formas de manejo, evidenciando a importância do uso de corretivos neste tipo de solo.

Os valores de MO variaram entre 21,1 e 8,7 g kg<sup>-1</sup> para a profundidade de 0 a 20 cm entre todos os sistemas de uso estudados. Esses valores estão dentro da faixa citada na literatura para solos arenosos sob diferentes coberturas vegetais e biomas brasileiros

(BOCHNER et al., 2008), confirmando as observações realizadas em estudos sobre a limitação de solos arenosos quanto à manutenção ou incremento da MO em razão do tamanho das partículas e de sua frágil estrutura física (GARCIA-PAUSAS et al., 2007). De acordo com Frazão et al.(2010), em NQ sob uso intensivo na região do Cerrado, a recuperação da MO é lenta, mesmo sendo adotado o sistema plantio direto e adubações corretivas.

**Tabela 4.** Valores médios da capacidade de troca catiônica efetiva (CTC), soma de bases (SB), saturação por base (V) e saturação por alumínio (m) de um Neossolo Quartzarênico obtidos nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm em diferentes sistemas de manejo e uso do solo, Fazenda Modelo II (MS).

Uso (2)	CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )			V (%)			m (%)		
	Profundidade (cm) <sup>(1)</sup>											
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
CE	1,13 Aa	1,10 Aa	1,17 Aa	0,27 Aa	0,26 Aa	0,25 Aa	3,34 Aa	3,71 Aa	3,80 Aa	75,06 Ad	76,11 Ad	78,21 Ad
PE	1,23 Aa	1,11 Aab	1,11 Aa	0,53 Aa	0,37 Aab	0,29 Aa	6,30 Aa	5,96 Aa	5,43 Aa	57,19 Ac	66,81 ABcd	73,52 Bcd
EUC	1,56 Bb	1,35 Bb	1,13 Aa	0,88 Bb	0,57 Ab	0,43 Aa	13,89 Bb	9,56 ABa	8,06 Aa	43,86 Ac	57,80 Ac	61,62 Ac
IAP	2,60 Cc	1,78 Bc	1,36 Aa	2,60 Cc	1,76 Bd	1,20 Ac	55,15 Cc	38,38 Bc	27,66 Ac	0,0 Aa	1,14 ABa	12,05 Ba
ILPF	1,33 Aab	1,30 Aab	1,18 Aa	0,99 Ab	1,00 Ac	0,88 Ab	18,35 Ab	19,20 Ab	18,14 Ab	26,09 Ab	23,17 Ab	26,30 Ab
CV (%)	1020			1934			24,11			17,46		

(1) Letras minúsculas comparam usos nas colunas. Letras maiúsculas comparam profundidades nas linhas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey a 5 %. (2) CE: vegetação nativa de cerrado; PE: pastagem extensiva; EUC: plantio de eucalipto; IAP: integração agricultura pecuária; ILPF: integração lavoura pecuária floresta; e CV: coeficiente de variação.

Embora tenha sido verificado significativo aumento no conteúdo médio da soma de bases (SB) e saturação por base (V%) para as áreas IAP, ILPF e EUC em relação a CE e PE, os valores apresentados estão abaixo dos níveis exigidos para as culturas cultivadas nas respectivas áreas. É importante salientar que o uso exclusivo de adubos minerais, sem promover calagens adequadas, pode levar os solos a perderem rapidamente a sua fertilidade em decorrência da acidificação, mobilização de elementos tóxicos (Al, Fe e Mn), imobilização de nutrientes e mineralização da matéria orgânica do solo (THEODORO, 2003).

Através da análise de componentes principais (ACP), representada na Figura 1, verifica-se a distribuição dos atributos físicos e químicos do solo feita por pontos indicando sua correlação com os eixos, onde a distância do ponto em relação à origem é proporcional à sua importância na explicação da variância projetada em cada eixo.

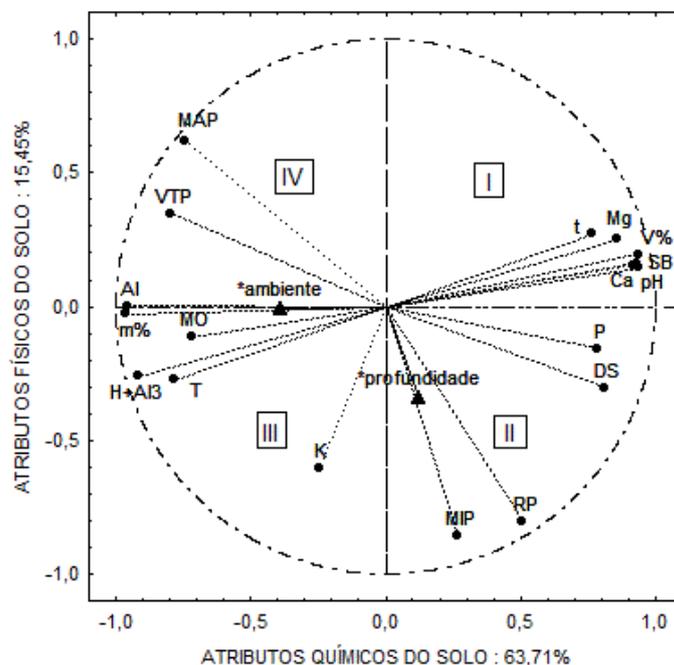
A ACP apresentou autovalores de 64,21 %, para o primeiro eixo (horizontal), e 15,95 %, para o segundo eixo (vertical), o que representa 80,16 % da variância total acumulada nos dois primeiros eixos, sendo a maior porcentagem explicada pelo primeiro eixo. Dessa forma, podem-se desprezar os demais eixos de ordenação, já que o gráfico bidimensional proporciona uma ordenação clara das características físicas e químicas do solo (TER BRAAK, 1986).

Os atributos que melhor explicaram as proporções de variação e apresentaram correlação com o primeiro eixo foram os atributos químicos, quais sejam: (SB) com índice de correlação igual a (0,94); pH (0,93); Ca (0,92); Al (-0,72); Mg (0,93); m% (-0,73); V% (0,92); e CTC efetiva (0,98). Já para o segundo eixo foram os atributos físicos que explicaram a maior variância, sendo a Ds (0,79), MAP (-0,91), VTP (-0,81) e RP (0,95) os que apresentaram correlações acima de 0,7.

O círculo de correlação unitário sobreposto sobre o plano fatorial (Figura 1) possibilitou identifi-

car visualmente que as variáveis estão relacionadas com os casos em estudo e que aquelas variáveis mais próximas ao círculo unitário possuem uma maior contribuição em relação às variáveis que estão mais

afastadas. Nesse sentido, as variáveis mais representativas foram MAP, V%, SB, pH, Ca, RP, Al, Al+H e m%.



**Figura 1.** Diagrama de ordenação dos atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico no círculo das correlações produzidos por análise de componentes principal (ACP). Significado das abreviaturas dos atributos do solo apresentados no diagrama, vide texto.

Conclui-se, também, que as variáveis localizadas no quadrante III foram as mais influenciadas pelos diferentes ecossistemas, ou seja, as variáveis Al, m%, MO, H+Al, CTC potencial (T) e K foram as maiores responsáveis pela detecção das diferenças entre as formas de manejo e uso do solo, enquanto que as variáveis localizadas no quadrante II (MIP, RP, Ds e P) foram as principais variáveis pela detecção das diferenças ocorridas entre as profundidades (Figura 1).

Na análise de componentes principais verificou-se que as características de fertilidade na camada superficial do solo foram as que mais se diferenciaram (63,71%), corroborando com Theodoro (2003).

Além da dispersão gráfica, o método de agrupamento utilizado evidenciou a formação de quatro grupos de acordo com os tipos de manejo e profundidade considerada (Figura 2). O primeiro formado por um único manejo e uso nas três profundidades estudadas (EUC), demonstrando ser um ecossistema distinto por apresentar a menor variação entre as profundidades. O segundo formado pela vegetação nativa de cerrado (CE) nas profundidades 5-10 e 10-20 cm. Este grupo se destacou dos demais por apresentarem, de maneira geral, os menores índices de fertilidade do solo (SB, CTC e V%) e maiores valores de MO nas profundidades 5-10 e 10-20 cm, o que refletiu em maiores valores de MAP, VTP e menor RP.

O terceiro grupo formado foi entre os siste-

mas IAP e ILPF para a mesma profundidade de 10-20 cm. Este grupo é reflexo das mesmas recomendações de preparo de solo (adubação e calagem) no momento da implantação daqueles sistemas. Isso fez com que os atributos físico-químicos nestas profundidades se mantivessem semelhantes devido ao não revolvimento, alterando apenas a camada superficial do solo em função do manejo.

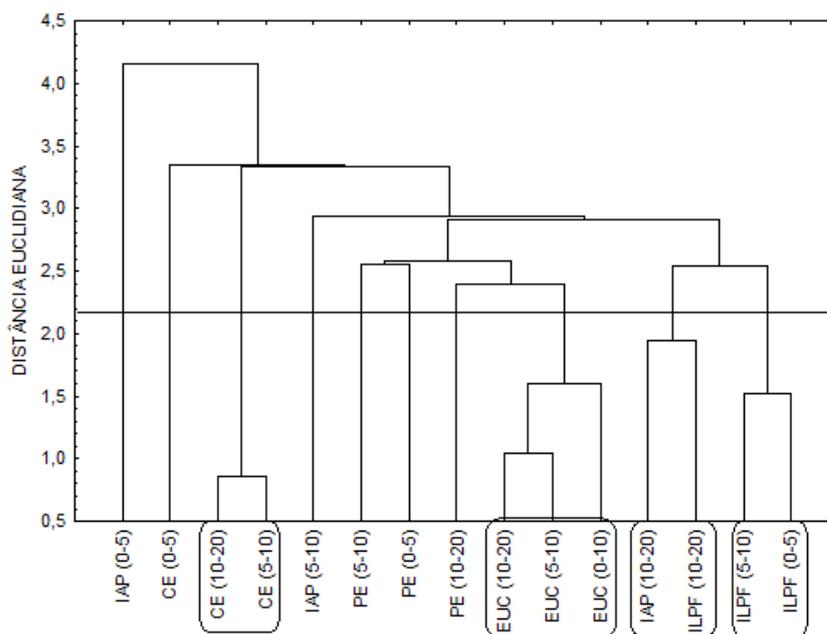
O quarto e último grupo estabelecido foi entre os sistemas IAP na profundidade 5-10 cm e ILPF na profundidade 0-5 cm. A adição de nutrientes via adubação durante os anos de cultivo de lavouras agrícolas e o acúmulo de material vegetal em superfície proporcionado, principalmente pelas pastagens e/ou pelo eucalipto (ILPF), fez com que melhorassem as características relacionadas à fertilidade do solo e permitissem a formação deste grupo, cada vez mais intensificada em relação ao IAP, na qual o aporte de nutrientes via adubação é constante devido à diversificação de cultivos, distinguindo a profundidade mais superficial (0-5 cm) deste sistema em relação ao grupo ora pontuado.

Os outros sistemas de manejo e uso, associados a suas profundidades, formaram seis componentes individualizados com características próprias, sendo o IAP (0 a 5 cm) o mais distinto entre todos os outros por ter sido o último a ser formado (Figura 2).

As variáveis de menor importância, por apresentarem maior coeficiente de ponderação nas últi-

mas variáveis, ou seja, aquelas que retêm pequena parte da variação total disponível foram P, MIP, MO, K e CTC potencial, mostrando que os atributos men-

cionados pouco contribuíram para discriminar os tipos de manejo e uso do solo.



**Figura 2.** Dendrograma de diferentes sistemas de manejo e uso do solo nas profundidades de 0 a 5; 5 a 10 e 10 a 20 cm de um Neossolo Quartzarênico, mostrando a distância euclidiana e a linha de corte a 80% desta.

## CONCLUSÕES

Os Solos sob diferentes sistemas de usos e manejo diferiram quanto às características físicas e químicas em relação à vegetação nativa de cerrado, sendo as alterações mais evidentes na camada superficial do solo.

Os sistemas de manejo e uso através da integração agricultura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta proporcionaram as maiores contribuições na melhoria da fertilidade do solo, quando comparados à vegetação nativa do cerrado.

De modo geral, houve uma relação antagônica entre os atributos físicos e químicos do solo quanto à avaliação da sustentabilidade entre sistemas de uso e manejo do mesmo, sendo que os atributos químicos se mostraram mais afetados que os físicos.

## REFERÊNCIAS

ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 933-942, 1999.

ANDERSON, T. W. **An introduction to multivariate statistical analysis**. New York: J. Wiley & Sons, 1958. 374 p

ARATO, H. D.; MARTINS, S. V.; FERRARI, S. H.

S. Produção e decomposição de serrapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 715-721, 2003.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, 2007.

BARRETO, A. C. et al. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 4, p. 415-425, 2006.

BASTOS, A. L. et al. Influência de doses de fósforo no fluxo difusivo em solos de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 136-142, 2008.

BAYER, C., MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 105-112, 1997.

BEUTLER, A. N. et al. Intervalo hídrico ótimo no monitoramento da compactação e da qualidade física de um Latossolo Vermelho cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1223-1232, 2007.

BOCHNER, J. K. et al. Matéria orgânica e agregação de um Planossolo sob diferentes coberturas flores-

tais. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 46-53, 2008.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132 p.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CENTURION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de uma Latossolo Vermelho em diferentes agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p. 254-258, 2001.

CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 289-298, 1999.

CUNHA, E.Q. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 56-63, 2012.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 3. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 190 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FRAZÃO, L. A. et al. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 10, p. 1198-1204, 2010.

GARCIA-PAUSAS, J. et al. Soil organic carbon storage in mountain grasslands of the Pyrenees: effects of climate and topography. **Biogeochemistry**, v. 82, n. 3, p. 279-289, 2007.

GODINHO, V. P. C. et al. Adsorção de fosfatos em três solos da região Semi-Árida do Rio Grande do Norte. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 8, p. 19-823, 1997.

IYAMUREMYE, F.; DICK, R. P. Organic amendments and phosphorus sorption by soils. **Advances in Agronomy**, v. 56, p. 139-185, 1996.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 945-953, 2002.

KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p. 635-662.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. 570 p.

MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares**. Viçosa: Aprenda Fácil/Centro de Produções Técnicas, 2001. 146 p.

MELÉM JÚNIOR, N. J. et al. O. Análise de componentes principais para avaliação de resultados analíticos da fertilidade de solos do Amapá. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 3, p. 499- 506, 2008.

MIYAZAWA, M.; CHIERICE, G. O.; PAVAN, M. A. Amenização da toxicidade de alumínio às raízes do trigo pela complexação com ácidos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 16, n. 2, p. 209-215, 1992.

PRIMACK, R. B; RODRIGUES, E. **Biologia da conservação**. Londrina: E. Rodrigues, 2001.

RIBEIRO, K. D. et al. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007.

SANTANA, D. P.; BAHIA FILHO, A. C. Qualidade do solo: Uma visão holística. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 15-18, 2002.

SECCO, D. et al. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 797-804, 2004.

SERAFIM, M. E. et al. Desenvolvimento de um penetrógrafo eletromecânico de bancada. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, San José de las Lajas, v. 17, n. 1, p. 61-65, 2008.

SMITH, C. W.; JOHNSTON, M. A.; LORENTZ, S. The effect of soil compaction and soil physical properties on the mechanical resistance of South African forestry soils. **Geoderma**, v. 78, n. 2, p. 93-111, 1997.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 11, p. 1135-1139, 2005.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER JÚNIOR, J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, n. 1, p. 18-22, 1966.

TER BRAAK, C. J. F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. **Ecology**, v. 67, n. 5, p. 1167-1179, 1986.

THEODORO, V. C. A. et al. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1039-1047, 2003.

TORMENA, C. A. et al. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 795-801, 2002.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 301-309, 1998.

ZINN, Y. L.; RESCK, D. V. S.; SILVA, J. E. da. Soil organic carbon as affected by afforestation with *Eucalyptus* and *Pinus* in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 166, n. 3, p. 285-294, 2002.