

ATRIBUTOS FÍSICOS E MATÉRIA ORGÂNICA DE UM LATOSSOLO SOB DIFERENTES MANEJO

Daniel Dias Valadão Júnior^{1*}, Franciele Caroline de Assis Valadão¹, Geovani José Silva²

¹ Professor(a) Doutor(a) do Instituto Federal de Mato Grosso - Campus Campo Novo do Parecis, MT. *E-mail: daniel.valadao@cnp.ifmt.edu.br

² Professor Doutor do Instituto Federal de Mato Grosso - Campus Cuiabá, MT.

RESUMO: Com o objetivo de avaliar as alterações nos atributos físicos e na matéria orgânica de um Latossolo Vermelho Amarelo, foram coletadas, em duas profundidades, amostras de solo em áreas sob cultivo anual, pastagem rotacionada, pastagem semi-extensiva, teca com duas densidades de plantio e mata nativa. Adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema de parcela subdividida. Foi avaliado densidade, resistência do solo a penetração, macro e microporosidade, porosidade total e matéria orgânica. Os dados foram submetidos à análise de variância e aplicou-se análise multivariada para identificar o atributo mais afetado pelo manejo e semelhança entre as formas de uso do solo. Os atributos físicos e matéria orgânica foram alterados pelos usos do solo, sem, contudo, caracterizar degradação física, sendo microporosidade a propriedade mais afetada. A exploração do solo com plantios anuais de forma pouca intensa, pode promover melhorias na qualidade física ao reduzir a densidade e aumentar a microporosidade e porosidade total e em sistemas florestais mais adensados, pode ocorrer à redução da resistência do solo à penetração. Os usos do solo influenciam os atributos físicos e teor de matéria orgânica do solo, sem, contudo, caracterizar degradação e impedimento ao crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo que a microporosidade é a propriedade mais afetada pelos sistemas.

Palavras-chave: Uso do solo. Pastagem. *Tectona grandis*. Porosidade. Densidade do solo.

ORGANIC MATTER AND PHYSICAL ATTRIBUTES OF AN OXISOL UNDER DIFFERENT MANAGEMENT

ABSTRACT: With the objective to evaluate changes in the attributes physical and organic matter from an Oxisol, were collected at two depths, soil samples in areas cultivated annual, grassland rotational and semi- extensive, planting of teak two densities and native forest. We adopted the completely randomized design in a split plot design. Was evaluated soil density, penetration soil resistance, macro and microporosity, total porosity and organic matter. Data were subjected to analysis of variance and applied multivariate analysis to identify the attribute most affected by the management and similarity between the forms of land use. The attributes physical and organic matter were affected by land use, without, however, characterize the physical deterioration, microporosity was property most affected. The exploitation of soil intense little with annual crops can provide improvements in

physical quality soil with reducing density and porosity increase and can occur reduce penetration soil resistance with forest systems planting more denser. Land uses influence the physical attributes and content of soil organic matter, without, however, characterize degradation and impediment to growth and development of plants, and the macroporosity is the most affected by property systems.

Key words: Land use. Grassland. *Tectona grandis*. Porosity. Soil density.

INTRODUÇÃO

A principal premissa para avaliar a sustentabilidade de um sistema de manejo é se ele permite a manutenção das propriedades do solo o mais próximo das condições originais em que essas se encontravam na natureza, assim, o sistema deve contribuir para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo e do ambiente, bem como para a obtenção de adequadas produtividades das culturas a longo prazo (COSTA *et al.*, 2003).

Porém, o primeiro passo para a exploração agrícola de uma área, é a retirada da vegetação nativa. Isso, aliado às práticas de manejo, muitas vezes inadequadas, promove o desequilíbrio entre o solo e o meio, altera suas propriedades físicas, podendo vir a limitar sua utilização agrícola e torná-lo mais suscetível à erosão (CENTURION *et al.*, 2001). Tais alterações são mais pronunciadas nos sistemas convencionais do que nos chamados manejos conservacionistas e, de um modo geral, a densidade do solo, o volume e a distribuição de tamanho dos poros são as características mais afetadas, influenciando a infiltração da água, a erosão hídrica e o desenvolvimento das plantas (BERTOL *et al.*, 2004).

A classe de solo, as condições climáticas, as culturas utilizadas, o tempo de uso dos diferentes sistemas de manejo e a condição de umidade do solo em que são realizadas as operações de campo determinam a magnitude dos efeitos do manejo sobre as propriedades físicas do solo (COSTA *et al.*, 2003). Outro fator que exerce grande influência sobre as propriedades físicas do solo em regiões tropicais e ao mesmo tempo é fortemente alterada pelo manejo é o conteúdo de matéria orgânica do solo. Isso ocorre por vários fatores, entre eles as substâncias húmicas, provenientes da matéria orgânica, que interagem com o material mineral, promovendo melhorias na parte física do solo (MARIN, 2002). Em solos agrícolas pode ocorrer desequilíbrio na dinâmica da matéria orgânica, pela intensificação da mineralização, e a liberação de alguns nutrientes, favorecendo, inicialmente, a nutrição vegetal. Na seqüência normalmente a adição da matéria orgânica é inferior a decomposição, tornando o sistema exaurido e provocando a degradação do solo (BARRETO *et al.*, 2006).

No entanto, existem evidências de que práticas conservacionistas, dentre elas, pastagens bem manejadas, florestas plantadas e sistemas agroflorestais, podem reduzir significativamente as perdas de carbono, mantendo os níveis de matéria orgânica dos solos ou até mesmo aumentando-os (CERRI *et al.*, 1992) o que promove a proteção e até incrementa positivamente as características físicas do solo.

Para se avaliar as modificações no solo decorrentes do cultivo, o normal seria submeter um solo sob vegetação natural às explorações agrícolas desejadas e analisar suas propriedades periodicamente (SANCHEZ, 1981). No entanto, por diferentes razões, é difícil atender a essas condições experimentais. Alternativamente, esses estudos podem ser feitos, então, utilizando solos cultivados e sob mata nativa, desde que mantidos os critérios genéticos e topográficos relacionados com a formação dos solos (ARAÚJO *et al.*, 2004). Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações nas propriedades físicas e no conteúdo de matéria orgânica de um solo promovida por diferentes formas de uso e manejo, tomando como referência as condições do solo sob vegetação nativa.

MATERIAL E MÉTODOS

A coleta das amostras de solo foi realizada em uma área de Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, relevo plano, pertencente ao Instituto Federal de Mato Grosso *campus* Cáceres/MT. O *campus* está localizado próximo ao rio Paraguai, e tem sua sede no município de Cáceres, região a sudoeste do estado de Mato Grosso. O clima local, classificado segundo Köppen, é do tipo Aw1, com precipitação média 1277 mm anual.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com 6 tratamentos e 7 repetições, em esquema de parcela subdividida, onde as parcelas foram os usos do solo (vegetação nativa - MN; pastagem rotacionada - PR, pastagem semi-extensiva - PE, área agrícola - AA; e reflorestamento com teca (*Tectona grandis*) nas densidades de 833 - TE e 2000 plantas ha⁻¹ - TA) e as subparcelas as profundidades de 2,5 a 7,5 e 10 a 15 cm para coleta dos anéis e 0 a 5, 10 a 15 e 15 a 25 para coleta das amostras usadas na determinação da matéria orgânica. Os manejos de solo estudados foram:

1. A vegetação nativa corresponde à área preservada, utilizada como referencial para avaliação das alterações das propriedades físicas e na matéria orgânica total do solo.
2. As áreas de pastagem foram formadas, a mais de dez anos com *Brachiaria humidicola* e apresentam alta produção de massa verde, diferenciando apenas na forma de divisão dos pastos e no tempo de permanência do gado. Na pastagem rotacionada, cada piquete recebe o gado por dois dias em cada mês; na área semi-extensiva o gado permanece continuamente no local com uma menor taxa de lotação sendo que esta taxa varia ao longo do ano em função da disponibilidade forragem.
3. A área agrícola é usada apenas no período da safra, sendo o solo normalmente preparado com gradagem, havendo em seguida o plantio de culturas anuais, como o milho. Após a colheita, deixa-se a área em pousio sendo naturalmente coberta por vegetação espontânea, em sua grande maioria *Panicum maximum*.
4. O reflorestamento com teca possui oito anos de idade não tendo recebido nenhuma adubação após o plantio e nenhum processo de desbaste, sendo que a diferença entre as duas áreas em estudo se restringe ao número de plantas por área.

Na busca por áreas que apresentassem as mesmas características, em cada um dos seis tipos de uso do solo, foi realizado sondagem, com trado Holandês, verificando a cor, a textura, a profundidade, o relevo e a maior proximidade possível entre as áreas.

Após a seleção das áreas, foram escolhidos, aleatoriamente, sete sítios de amostragem, que foram identificados e tiveram a resistência do solo à penetração (RSP) medida por meio de um penetrógrafo eletrônico automático manual com velocidade de penetração constante desenvolvido por Bianchini *et al.* (2002). Foram realizados cinco ensaios em pontos afastados 0,50 m do centro de cada sítio, sendo a resistência registrada a cada 2,5 mm, até a profundidade de 30 cm. Na seqüência, no centro de cada sítio de amostragem, nas camadas de 2,5 a 7,5 e 10 a 15 cm de profundidade, coletou-se as amostras de estrutura preservada, utilizando amostrador de Kopeck, com anel metálico de volume conhecido, totalizando 84 amostras.

Além das amostras indeformadas, foram coletadas também, com um trado holandês, nas mesmas profundidades, amostras deformadas, usadas na determinação da textura e do conteúdo de água do solo. Especificamente para coleta das amostras utilizadas para quantificar a matéria orgânica total do solo (MO), foi aberto em cada ponto amostral, uma mini-trincheira com aproximadamente 30 cm de profundidade retirando-se amostras deformadas nos intervalos de amostragem de 0 a 5; 10 a 15 e 15 a 25 cm. Posteriormente, as amostras foram acondicionadas para que mantivessem suas características originais e foram transportadas para o laboratório e analisadas conforme as metodologias da EMBRAPA (2011). Para a porosidade foi utilizada uma coluna de areia conforme Silva *et al.* (2008a).

As variáveis físicas analisadas foram: densidade do solo (DS), resistência do solo à penetração (RSP), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi). Para caracterizar as parcelas, foi determinado a textura e o conteúdo de água do solo no momento da amostragem (CA). A análise da textura foi realizada pelo método do densímetro de Boyoucos, com o dispersante NaOH 0,1 N. O conteúdo de matéria orgânica total no solo foi determinado pelo método da calcinação “loss on ignition” adaptado de Davies (1974), calcinando em mufla a 600°C, por seis horas, amostra de solo de massa de 4 g, determinada em balança analítica com fundo de escala de um milionésimo de grama.

A média geral da análise textural das áreas na camada de 0-20 cm apresentou: argila 217 ($\pm 3,01$) g kg⁻¹, silte 67 ($\pm 1,51$) g kg⁻¹ e areia 716 ($\pm 10,07$) g kg⁻¹, sendo que dessa areia 2% areia grossa, 15,12% areia média, 37,6% areia fina e 16,89% areia muito fina, não sendo observada diferença significativa entre as áreas, cumprindo os requisitos propostos por Araújo *et al.* (2004) para que se possa comparar áreas em diferentes usos.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Scott-Knott, adotando-se como critério de significância de F e de diferença entre médias, valores de $p < 0,05$. Os dados foram processados utilizando-se o software SISVAR (FERREIRA, 2011). Foi também feito o estudo das relações entre os

atributos por meio de análise de componentes principais e associação entre os sistemas pela análise de agrupamento hierárquico (JOHNSON; WICHERN, 1998).

A análise de componentes principais foi realizada utilizando a matriz de correlação amostral e após seleção dos componentes principais foi realizada análise de correlação entre os coeficientes dos autovetores e variáveis originais, fazendo-se em seguida a soma dos quadrados dos coeficientes de correlação de cada variável para identificar o atributo mais alterado pelos usos do solo, sendo que atributos de maior importância apresentam maior soma de quadrados. Na análise de agrupamento foi utilizada a distância Euclidiana como medida de similaridade e o Método da Ligação Completa como algoritmo de agrupamento, com membros combinados pela menor distância máxima entre eles.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao observar a análise variância dos dados (Tabela 1), nota-se que o CA não foi afetado por nenhuma das fontes de variação, ou seja, não foi alterado por uso do solo, profundidade e interação entre fatores (uso x profundidade), evidenciando que a umidade, no momento da coleta, não variou entre os tratamentos ou no perfil. Essa condição é essencial para obtenção da RSP, uma vez que a mesma é fortemente influenciada pelo conteúdo de água no solo (SILVA *et al.*, 2008b).

Tabela 1. Análise de variância dos atributos físicos e da matéria orgânica total de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico em função do uso e da profundidade

Atributos ⁽¹⁾	Fontes de variação			Coeficiente de variação (CV)	
	Uso do Solo (US)	Profundidade (P)	US x P	CV (US) %	CV (P) %
	-----Significância de F-----				
CA (cm ³ cm ⁻³)	0,5058	0,0794	0,7129	5,50	6,95
RSP (Mpa)	0,0000	0,0000	0,0000	43,02	14,24
DS (Mg m ⁻³)	0,0000	0,0000	0,0065	5,13	4,06
Pt (cm ³ cm ⁻³)	0,0000	0,0000	0,0928	9,69	8,38
Ma (cm ³ cm ⁻³)	0,0000	0,0000	0,2900	34,75	29,04
Mi (cm ³ cm ⁻³)	0,0000	0,0021	0,0038	10,27	6,03
MO (g kg ⁻¹)	0,5000	0,0002	0,0296	17,16	19,38

⁽¹⁾ CA – conteúdo atual de água do solo, RSP – resistência do solo à penetração, DS – densidade do solo, Pt – porosidade total, Ma – macroporosidade, Mi – microporosidade, MO – matéria orgânica total do solo. Fonte: Dados do próprio autor.

Observou-se também que alguns dos atributos tiveram altos valores de coeficientes de variação, quando considerado o efeito do uso dos solos, como a exemplo de RSP e Ma cujos coeficientes foram respectivamente de 43,02 e 34,75%. Esses coeficientes de variação ocorrem em razão da natural heterogeneidade dos solos, que podem apresentar variações em

suas características a curtas distâncias, mesmo que apresente a mesma característica textural. Bertol *et al.* (2001) e Silva *et al.* (2004), trabalhando com RSP encontraram coeficientes que variaram entre 16,4 e 74 %.

Ainda na Tabela 1, nota-se que a interação entre sistema de uso e profundidade foi significativa para RSP, DS, Mi e MO, o que indica haver alterações nesses atributos em função do manejo empregado e este efeito é diferenciado nas camadas do solo. Já ao analisar a Pt e Ma, não houve efeito da interação, ou seja, o uso do solo influencia estes atributos independente da camada amostrada e os atributos foram alterados em profundidade independente do uso do solo.

Tabela 2. Valores médios⁽²⁾ dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico em função da profundidade (prof.) e do uso.

Atributos ⁽¹⁾	Prof. (cm)	Uso do solo						Média
		PR	PE	TA	TE	AA	MN	
CA (cm ³ cm ⁻³)	2,5-7,5	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,21	
	10-15	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	
RSP (MPa)	2,5-7,5	1,59 Aa	0,56 Cb	0,34 Da	0,98 Bb	0,64 Cb	0,45 Db	
	10-15	1,72 Aa	1,06 Ca	0,47 Da	1,35 Ba	1,22 Ba	1,01 Ca	
DS (Mg m ⁻³)	2,5-7,5	1,51 Ab	1,55 Ab	1,56 Aa	1,44 Bb	1,30 Cb	1,47 Bb	
	10-15	1,62 Aa	1,65 Aa	1,61 Aa	1,68 Aa	1,47 Ba	1,60 Aa	
Pt (cm ³ cm ⁻³)	2,5-7,5	0,41	0,37	0,37	0,42	0,47	0,34	0,40 a
	10-15	0,35	0,32	0,32	0,32	0,39	0,30	0,32 b
	Média	0,38 B	0,34 B	0,34 B	0,37 B	0,43 A	0,32 B	
Ma (cm ³ cm ⁻³)	2,5-7,5	0,12	0,06	0,11	0,16	0,23	0,10	0,13 a
	10-15	0,07	0,04	0,07	0,05	0,18	0,05	0,07 b
	Média	0,10 B	0,05 C	0,09 B	0,11 B	0,21 A	0,08 B	
Mi (cm ³ cm ⁻³)	2,5-7,5	0,29 Bb	0,31 Aa	0,24 Ba	0,26 Ba	0,23 Ba	0,24 Ba	
	10-15	0,27 Aa	0,28 Ab	0,25 Ba	0,26 Ba	0,21 Cb	0,24 Ca	

⁽¹⁾ DS – densidade do solo, RSP – resistência do solo à penetração, CA – conteúdo de água do solo, Pt – porosidade total, Ma – macroporosidade, Mi – microporosidade. ⁽²⁾ Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e de letras minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p< 0,05).
Fonte: Dados do próprio autor.

Ao analisar a RSP (Tabela 2), nota-se que os valores variaram de 0,34 a 1,72 MPa e, apesar dos sistemas diferirem entre si, estes valores ficaram abaixo do nível considerado crítico para o desenvolvimento radicular das plantas, que seria de 2,0 MPa (TAYLOR *et al.*, 1966), o que indica não haver entre os sistemas analisados impedância mecânica para o crescimento da raiz das culturas cultivadas. O sistema que apresentou menor RSP foi o TA, mesmo quando comparado com as condições de mata nativa. Por outro lado, a pastagem rotacionada teve a resistência mais alterada negativamente pelo manejo, com valores bem mais altos que os demais sistemas e, portanto, mais próximo da resistência crítica.

Na mata nativa, a camada de 10-15 cm teve maior RSP que a camada subjacente, indicando que há tendência natural deste atributo aumentar com a profundidade do solo. Os únicos sistemas que não diferiram quanto a RSP entre as duas camadas estudadas foram PR e TA e isto evidencia que estes sistemas são os que mais sofreram influência do uso do solo, tendendo a uma homogeneização da resistência na camada superficial do solo, uma vez que os demais sistemas seguiram a mesma tendência da mata nativa em profundidade.

O fato da PR apresentar os maiores valores de RSP, pode ser explicado pela pisoteio que sofre, por possuir área restrita e elevado número de animais. Estes resultados corroboram com Silva *et al.* (2008b) que em solos de cerrado sob diferentes usos encontraram para pastagem maiores valores de RSP e Moreira *et al.* (2005) que encontraram resultados semelhantes atribuindo a compactação do solo à indução de forças aplicadas na superfície, isto é, pela carga animal.

No solo sob teca, a presença de árvores, com raízes bastante desenvolvidas e agressivas em termos de crescimento e exploração do solo, faria o mesmo papel da grade, ao romper a estrutura do solo minimizando a RSP e conforme demonstrado, isto é mais evidente em plantios mais adensados. No geral, as árvores são responsáveis por diversos benefícios ao solo, protegendo-o do impacto das gotas de chuva, mantendo o teor de material orgânico e melhorando suas propriedades físicas (YOUNG, 1997). Como a mata nativa constitui um sistema de cerrado, onde a vegetação é menos densa que o sistema cultivado com teca, provavelmente tenha contribuído para os maiores valores de resistência.

É interessante observar que na área agrícola (AA) os valores de RSP, apesar de serem maiores do que os da mata nativa, não são muito elevados, o que pode-se inferir que a exploração nesta área não é feita de forma tão intensa como em grandes áreas comerciais e a gradagem feita anualmente favoreceria o rompimento de camadas de adensamento que poderiam proporcionar incrementos na RSP.

Os valores de DS variaram de 1,30 a 1,68 Mg m⁻³ (Tabela 2) e ficaram dentro do limite crítico para solos de mesma textura que seria de 1,75 Mg m⁻³ (REINERT *et al.*, 2008). Independente da camada analisada, as menores densidades foram obtidas no sistema AA. Na camada de 2,5 a 7,5 cm, os maiores valores foram encontrados nos sistemas PR, PE e TA. Na camada de 10 a 15 cm, com exceção de AA, os demais sistemas não diferiram entre si.

No caso da área agrícola isso pode ter ocorrido pelas gradagens que ocorrem anualmente, fazendo com que ocorra aumento da porosidade e redução da densidade. Nas pastagens, como já comentado em RSP, o pisoteio do gado também se mostrou desfavorável a DS, elevando os valores próximos aos limites críticos. Não era esperado que a TA resultasse em maior DS, uma vez que a RSP está diretamente relacionada com este atributo. Ao se comparar a DS nas profundidades dentro de cada uso, somente TA não apresentou diferença, comportamento que já havia sido observado com relação à RSP.

Os resultados referentes à DS desse trabalho diferem dos encontrados por Barreto *et al.* (2006), que não encontraram diferenças significativas para solos sob pastagens, sistema

agroflorestal e floresta, e ainda, os valores médios ficaram bem acima dos encontrados por Carvalho *et al.* (2004), que trabalhando com sistema de cultivo agroflorestal e sistema de cultivo convencional encontram o valor máximo de 1,21 Mg m⁻³. Porém os resultados estão semelhantes aos de Silva *et al.* (2008b) que encontraram para sistemas de pastagens solo maior RSP e DS.

Os valores de Ma variaram de 0,04 a 0,23 cm³ cm⁻³ e são considerados adequados para as plantas, em termos de garantia de aeração do sistema radicular cujo limite crítico é de 10% do volume total de poros (REYNOLDS *et al.*, 2002). De modo geral PT e Ma tiveram resultados muito semelhantes (Tabela 2), fato esperado, uma vez que a Pt sofre influência direta da Ma (SILVA *et al.*, 2008b). As maiores Pt e Ma foram obtidas no sistema AA, valores estes bem maiores que o da MN. A diferença na porosidade do solo em relação a MN evidencia que os sistemas de manejo influenciaram diretamente no arranjo dos poros provocando maior volume poroso, contudo, manejos convencionais menos intensivos, como o aplicado na área agrícola do presente estudo, podem resultar em melhorias no sistema de armazenamento de ar e água do solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Silva *et al.* (2001), trabalhando com plantio convencional onde encontrou valores mais elevados de Ma e Pt ao compará-lo com plantio direto.

Para Mi foram encontradas maiores variações entre os usos do solo, principalmente na maior profundidade (Tabela 2). Na camada de 2,5 a 7,5 cm, a maior Mi foi obtida no sistema PE, não havendo diferença entre os demais sistemas. Na camada de 10 a 15 cm, os sistemas PA e PE proporcionaram as maiores microporosidades, sendo que em AA foi obtido o menor valor. Ao se observar e comparar a Ma e a Mi, é perceptível a relação entre ambas uma vez que o acréscimo em uma, causa redução em outra, no entanto, sem provocar grandes alterações na Pt.

Tabela 3. Valores médios da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (g dm⁻³) sob diferentes usos e profundidades⁽²⁾.

USOS DO SOLO ⁽¹⁾	PROFUNDIDADE (cm)		
	0-05	05-15	15-25
MN	47,75 aA	29,25 bB	28,75 bB
PR	47,75 aA	36,00 aB	35,25 aB
PE	45,00 aA	40,50 aA	27,50 bB
AA	38,00 bA	33,50 bA	37,50 aA
TE	38,00 bA	33,50 bA	37,00 aA
TA	38,00 bA	31,00 bB	37,50 aA

⁽¹⁾MN: Mata Nativa; PR: Pastagem Rotacionada; PE: Pastagem Semi-extensiva; AA: Área Agrícola; TE: Teca com 833 plantas ha⁻¹; TA: Teca com 2000 plantas ha⁻¹. ⁽²⁾ Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p < 0,05). Fonte: Dados do próprio autor.

Na camada de 0-5 cm de profundidade os maiores teores de MO foram obtidos na MN, PR e PE comparados aos demais sistemas (Tabela 3). Na camada de 5-15 cm houve

redução de MO no sistema MN e PR, sendo os demais sistemas permanecem na mesma condição da camada superficial. Na camada de 15-25 cm os menores teores de MO foram obtidos na MN e na PE.

Resultados semelhantes são encontrados na literatura. Ao compararem cerrado natural, pastagem e floresta adulta de eucalipto, Alvarenga *et al.* (1999) encontraram maiores conteúdos de carbono orgânico total em solos sob cerrado e sob pastagem, quando comparado com áreas de plantação com eucalipto e explicam que isso pode ocorrer pela decomposição diferenciada dos resíduos vegetais. Barreto *et al.* (2006) ao estudaram solo sob Mata Atlântica e pastagem também relataram não haver diferenças no teor de carbono total do solo e justificaram pela camada espessa de resíduos vegetais que se forma sobre o solo, armazenando carbono em superfície. Para esses autores, o pastejo favorece um menor revolvimento e maior preservação dos macroagregados do solo, e que, por esses motivos, os teores de carbono orgânico total permanecem elevados. Além disso, o cultivo com gramínea, que é planta C4, normalmente contribui com maior aporte de carbono ao solo e ainda por apresentar sistema radicular profundo com raízes ramificadas, o resíduo da renovação destas pode contribuir para aumentar o conteúdo de carbono do solo.

A igualdade entre área agrícola e plantios de teca pode estar relacionado a baixa intensificação da exploração e ao longo período do ano em que a área agrícola permanece coberta por uma densa camada de vegetação espontânea havendo manutenção da matéria orgânica. É interessante observar que em sistema natural (MN) há redução de MO com o aumento de profundidade e os sistemas de pastagens acompanham esta tendência, todavia os sistemas AA, TE e TA não diferenciam quanto aos valores de MO em profundidade indicando que estes sistemas tenderam a homogeneização.

Apesar das diferenças significativas, o teor de matéria orgânica encontrado nas áreas em estudo pode ser considerado alto para regiões tropicais que normalmente é caracterizada por uma intensa atividade biológica que favorece a rápida decomposição do carbono, e estes valores podem ter ocorrido devido à maior parte das áreas serem sistemas estabilizados e de certa forma conservacionistas com baixa movimentação de máquinas e pessoas.

Na análise de componentes principais, os três primeiros componentes representaram juntos 87,2% da variância total (Tabela 4), portanto, estes foram escolhidos para análise das relações entre os atributos do solo, atendendo o mínimo de variância estabelecido por Johnson e Wichern (1998).

O primeiro componente representa 47,0% da variância total e as relações mais importantes são estabelecidas entre Ma e Pt que se correlacionam negativamente com a DS. Este fato afetou diretamente a Pt evidenciando que este atributo foi mais alterado pela Ma do que pela Mi. Outro fato interessante a ser ressaltado é que apesar do CA no momento da coleta não ter diferido entre sistema de uso do solo, possui correlação positiva com a Ma e Pt e negativa com a DS corroborando os resultados de Magalhães *et al.* (2009) em Latossolo no Pantanal Mato-grossense. Densidade do solo e Mi têm os mesmos sinais, indicando correlação

positiva entre os atributos. Assim, com o incremento da DS aumenta-se a Mi, por outro lado, diminui-se a Ma, Pt e CA. A porosidade total está relacionada com o volume de poros ocupado por ar e água, a Ma com a movimentação de ar e água no solo e a Mi com a retenção de água; contudo, com o aumento da Pt, e nesse caso principalmente devido ao aumento da Ma, o espaço total que pode ser ocupado por água também aumenta e conseqüentemente o CA será maior.

Tabela 4. Coeficientes de correlação entre autovetores e variáveis originais em cada componente principal (CP) e soma de quadrado (SQ) dos coeficientes

Atributos ¹	CP1	CP2	CP3	SQ
Ma	0,94	-0,16	0,28	0,99
DS	-0,97	-0,04	-0,08	0,95
Pt	0,87	0,22	0,39	0,95
MO	0,29	0,90	0,18	0,92
Mi	-0,36	0,83	-0,12	0,86
RSP	-0,31	0,11	-0,78	0,72
CA	0,58	0,12	-0,06	0,36
Autovalor	3,30	1,59	1,21	-
Proporção da variância (%)	47	23	17	-

⁽¹⁾ Ds – densidade do solo, RSP – resistência do solo à penetração, CA - conteúdo de água do solo, Pt – porosidade total, Ma – macroporosidade, Mi – microporosidade. Fonte: Dados do próprio autor.

O segundo componente detém 23% da variância total e as relações mais significativas ocorrem entre MO e Mi. Silva e Kay (1997) salientam que a microporosidade do solo é fortemente influenciada pela textura e teor de carbono orgânico e muito pouco influenciada pelo aumento da densidade do solo, originada do tráfego de máquinas, implementos, etc. Deve-se ressaltar que os sistemas de pastagens, juntamente com a mata nativa, foram os sistemas com maior aporte de MO superficial, e portanto, maior Mi.

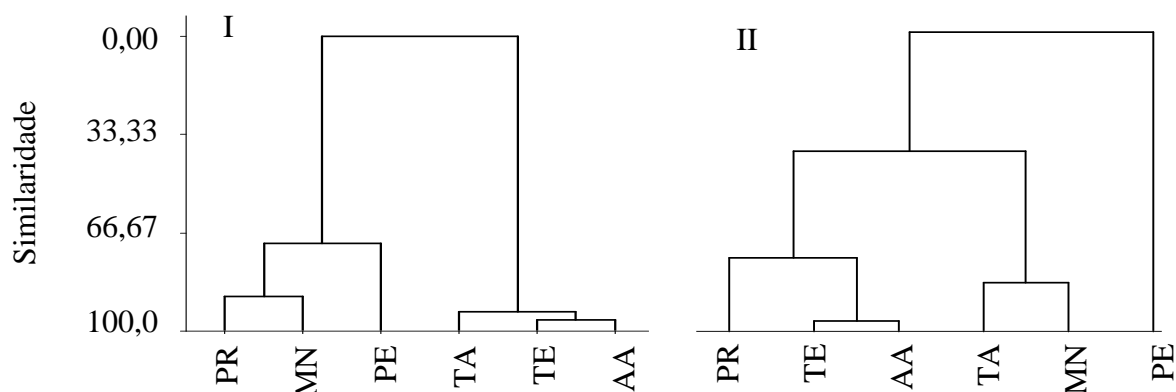
Já o terceiro componente detém 17% da variância total e associa a RSP a Pt com correlação negativa entre os atributos. Como RSP se correlaciona positivamente com Ds, a relação com Pt também é negativa.

Na análise geral dos componentes feita por meio da soma de quadrado dos coeficientes de correlação, é possível verificar que a Ma é o atributo mais influenciado pelos usos do solo, contrariamente, o CA é o menos afetado, conforme demonstrado na análise de variância que não detectou diferença para este atributo em relação ao tipo de uso do solo.

Deve-se ressaltar que o fluxo de gases bem como o movimento de água no solo, estão intimamente relacionados ao seu volume de macroporos, ou seja, a garantia da oxigenação radicular bem como a capacidade de infiltração e redistribuição de água no perfil dependem dessa propriedade. Sua efetividade, porém, nesses casos, depende além da quantidade, da sua continuidade em profundidade e da abertura à superfície (SILVA *et al.*, 2005). Segundo Douglas (1986) e Carter (1988), a Ma revela-se como um índice bastante útil na avaliação das modificações estruturais do solo e é um atributo de grande importância na taxa de

infiltração de água no solo. Assim, sistemas de uso do solo que proporcionam poros de maior tamanho são menos susceptíveis ao escoamento superficial e perda de solo.

Com a análise de agrupamento hierárquico pode-se verificar quais sistemas mais se aproximaram da mata nativa, condição não alterada pelo homem (Figura 1). Nota-se que os agrupamentos são dependentes da profundidade, assim, os grupos formados são diferentes em cada camada estudada.



MN: Mata Nativa; PR: Pastagem Rotacionada; PE: Pastagem Semi-extensiva; AA: Área Agrícola; TE: Teca com 833 plantas ha⁻¹; TA: Teca com 2000 plantas ha⁻¹.

Figura 1. Agrupamento hierárquico dos sistemas de uso solo em função dos atributos do solo na camada de 2,5-7,5 cm (I) e 10-15 cm (II).

Na camada de 2,5-7,5 cm são formados dois grupos, sendo que os sistemas que mais se assemelham a mata nativa são os sistemas de pastagens, tanto rotacionado quanto o semi-extensivo. No outro grupo se encaixaram os sistemas cultivados com teca e com culturas anuais. Na camada de 10-15 cm, ocorre modificação entre os sistemas, sendo o primeiro grupo formado por PR, TE e AA e o segundo grupo formado por TA e MN, evidenciando que nesta camada o sistema com teca mais adensada foi o que mais se aproximou da condição não antropizada.

De forma geral, apesar de detectadas alterações nos sistemas de uso do solo em comparação com o sistema natural, não houve situações em que os solos apresentassem sinais de degradação e limitação ao crescimento e desenvolvimento das plantas mesmo em condição de cultivo agrícola e sob revolvimento do solo, ao contrário, puderam promover melhoria em algumas propriedades físicas e manutenção dos teores de matéria orgânica do solo.

CONCLUSÃO

Os usos do solo influenciam os atributos físicos e teor de matéria orgânica do solo, sem, contudo, caracterizar degradação e impedimento ao crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo que a macroporosidade é a propriedade mais afetada pelos sistemas.

A pastagem proporciona ao solo características próximas da vegetação nativa, principalmente, na camada superficial.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Mato Grosso campus Cáceres/MT, por dar condições à realização do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, M. I. N.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Teor de carbono, biomassa microbiana, agregação e micorriza em solos de cerrado com diferentes usos. **Ciência agrotécnica**, Lavras, v. 23, n. 3, p.617-625, 1999.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p.337-345, 2004.

BARRETO, A. C.; LIMA, F. H. S.; FREIRE, M. B. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J. 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.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetado pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p.555-560, 2001.

BERTOL, I.; ALBURQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JÚNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p.155-163, 2004.

BIANCHINI, A.; MAIA, J. C. S.; MAGALHÃES, P. S. G.; CAPPELLI, N.; UMEZU, C. K. Penetrógrafo eletrônico automático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p.332-336, 2002.

CARTER, M. R. Temporal variability of soil macroporosity on a fine sandy loam under mouldboard ploughing and direct drilling. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 12, n. 1, p.35-51, 1988.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p.1153-1155, 2004.

CENTURION, J. F.; CARDOSO, J. P.; NATALE, W. Efeito de formas de manejo em algumas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho em diferentes

agroecossistemas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 2, p.254-258, 2001.

CERRI, C. C.; MORAES, J. F. L.; VOLKOFF, B. Dinâmica do carbono orgânico em solos vinculados à pastagens da Amazônia brasileira. **Investigation Agrária**, Montevideu, v. 1, n. 1, p.95-102, 1992.

COSTA, F. S.; ALBULQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 3, p.527-535, 2003.

DAVIES, B. E. Loss-on-ignition as an Estimate of Soil Organic Matter. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 38, n. 1, p.347-353, 1974.

DOUGLAS, J. T. Macroporosity and permeability of some soil cores from England and France. **Geoderma**, Amsterdam, v. 37, n. 2-3, p.221-231, 1986.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras v.35, n. 6 p.1039-1042, 2011.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 5. ed. Texas: Prentice Hall, 1998. 420 p.

MAGALHÃES, W. A.; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; SILVA, W. M.; CARVALHO, J. M.; MOTA, M. S. Determinação da resistência do solo a penetração sob diferentes sistemas de cultivo em um Latossolo sob Bioma Pantanal. **Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 6, p.21-32, 2009.

MARIN, A. M. P. **Impactos de um sistema agroflorestal com café na qualidade do solo**. 2002. 83 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2002.

MOREIRA, J. A. V.; OLIVEIRA, I. P.; GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F. Atributos químicos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 3, p.155-161, 2005.

REINERT, D. J.; ALBURQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p.1805-1816, 2008.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, Amsterdam, v. 110, n. 1-2, p.131-146, 2002.

SANCHEZ, P. A. **Suelos del trópico** - características y manejo. San José: Instituto Interamericano de Cooperación para La Agricultura, 1981. 645 p.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. **Soil Science America Journal**, Madison, v. 61, n. 4, p.877-883, 1997.

SILVA, G. M.; BUSO, W. H. D.; OLIVEIRA, L. F. C.; NASCIMENTO, J. L. Caracterização físico-hídrica de um Latossolo Vermelho perférrico submetido a dois sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 31, n. 2, p.127-131, 2001.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p.399-406, 2004.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p.544-552, 2005.

SILVA, G. J.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; BIANCHINI, A.; MAIA, J. C. S.; AZEVEDO, E. C. Sand column as an alternative method for measuring the air-filled porosity of soil. In: CIGR - INTERNATIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 37., 2008. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2008a. 4 p. CD-ROM.

SILVA, G. J.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; BIANCHINI, A. AZEVEDO, E. C.; MAIA, J. C. S. Variação de atributos físico-hídricos em Latossolo Vermelho-Amarelo do cerrado mato-grossense sob diferentes formas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p.2135-2143, 2008b.

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

YOUNG, A. **Agroforestry for soil management**. 2. ed. Nairobi: CAB Internacional, 1997. 320 p.