

AISLANN DE OLIVEIRA ROSA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE SOLOS DAS REGIÕES  
NOROESTE E ALTO PARANAÍBA - MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa – Campus Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Magister Scientiae.

RIO PARANAÍBA  
MINAS GERAIS - BRASIL

2016

R788c

Rosa, Aislann de Oliveira, 1991-  
Caracterização física de solos das regiões Noroeste e Alto  
Paranaíba – Minas Gerais. / Aislann de Oliveira Rosa. – Rio  
Paranaíba, MG, 2016.  
42 f.; il.; 29cm.

Orientador: Alberto Carvalho Filho  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa-  
Campus Rio Paranaíba.

1. Densidade. 2. Porosidade total. 3. Agregados. I. Universidade  
Federal de Viçosa-Campus Rio Paranaíba. Instituto de Ciências  
Agrárias. Mestrado em Agronomia-Produção Vegetal II. Título.

CDD 22. ed. 631.4

AISLANN DE OLIVEIRA ROSA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA SOLOS DAS REGIÕES NOROESTE  
E ALTO PARANAÍBA - MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa – Campus Rio Paranaíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Magister Scientiae.

APROVADA: 04 de fevereiro de 2016

---

Prof. André Mundstock Xavier de Carvalho  
(Coorientador)

---

Prof. Vinícius Ribeiro Faria  
(Coorientador)

---

Prof. Diego Antônio de França Freitas

---

Prof. Alberto Carvalho Filho  
(Orientador)

Aos meus pais, Rozeli de Oliveira Rosa e Claudimir Rosa,  
dedico.

## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada;

À minha família, pelo apoio dado durante todos estes anos de idas e vindas, por tanta generosidade, bondade, desprendimento e amor. Em especial aos meus pais, por nunca terem medido esforços para estar ao meu lado em todos os momentos desta jornada;

Ao meu irmão Wesley de Oliveira Rosa e meus sobrinhos, Ellen Cristina Sampaio de Oliveira Rosa e Matheus de Góes Rosa, que sempre me apoiaram;

À querida Amanda Rocha Barbosa e toda sua família, pela compreensão, companheirismo e incentivo;

À Universidade Federal de Viçosa – Campus Rio Paranaíba pela oportunidade de cursar o Programa de Pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal;

À FAPEMIG pelo auxílio financeiro concedido;

Ao professor Alberto Carvalho Filho, minha mais importante referência acadêmica;

Aos professores André Mundstock Xavier de Carvalho e Vinícius Ribeiro Faria, por disporem de seu tempo em conversas, conselhos e discussões;

A todos os professores da Universidade Federal de Viçosa – Campus Rio Paranaíba, que contribuíram para a minha formação profissional;

A todos os meus amigos, que tornaram toda a jornada mais fácil de ser trilhada;

Aos produtores rurais, que permitiram a coleta das amostras em suas propriedades, em especial, Marcos Kenji Ishikawa, Equipe Fuchs Agro Brasil, EPAMIG, Shimada Agronegócios e Fazenda Goiabeiras;

Às empresas, TerrenaAgro, Du Pont Pioneer e Nativa Agronegócios, em especial, Ronaldo Pinheiro, Jorge Pacau, Gustavo Machado, João Batista, Emílio Dias que me apoiaram em determinadas etapas deste trabalho;

A todos que contribuíram de alguma forma para a conclusão desse processo.

**Meus Sinceros Agradecimentos!**

## SUMÁRIO

RESUMO.....	IV
ABSTRACT.....	V
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
<b>ÍNDICES DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE FÍSICA DE SOLOS DO CERRADO .....</b>	<b>3</b>
<b>AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA DE LATOSSOLOS DO CERRADO SUBMETIDOS A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO .....</b>	<b>19</b>
CONCLUSÃO GERAL .....	30
REFERÊNCIAS.....	30

## RESUMO

ROSA, Aislann de Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2016. **Caracterização física de solos das regiões Noroeste e Alto Paranaíba - Minas Gerais.** Orientador: Alberto Carvalho Filho. Coorientadores: André Mundstock Xavier de Carvalho e Vinícius Ribeiro Faria.

O objetivo neste trabalho foi comparar sistemas de manejo e obter índices de referência de qualidade física do solo em sistemas de produção agrícola em solos do cerrado. Para obtenção dos índices de referência, foram estudados cinco solos distintos e em seu estado natural, tendo seu sistema preservado e em equilíbrio, sob mata nativa e sem ação antrópica. Posteriormente foram realizados três estudos por amostragem, tendo como tratamentos solos em seu estado natural e solos incorporados em sistemas de produção agrícola, tendo amostras deformadas e indeformadas coletadas, de 0,15 em 0,15 m até a profundidade de 0,75 m, em trincheiras abertas com dimensões aproximadas de 1,00 m x 1,00 m; em 3 pontos de amostragem aleatoriamente selecionados, para cada tratamento, com 3 e 6 repetições, respectivamente. Os atributos físicos do solo avaliados foram: Porcentagem de agregados estáveis em água, diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico, índice de estabilidade de agregados, porosidade total, densidade aparente, densidade de partículas e grau de floculação de argila. Os dados demonstram que para o LATOSSOLO AMARELO – pivô houve uma menor porosidade total nas camadas subsuperficiais de 0,15 a 0,45 m, bem como maior densidade aparente para as mesmas camadas, evidenciando uma compactação subsuperficial. Ao comparar os tratamentos LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, maiores valores de densidade aparente e densidade de partículas, nas camadas superficiais para LATOSSOLO VERMELHO AMARELO – pivô, evidenciando uma compactação superficial. O tratamento LATOSSOLO VERMELHO – pivô em comparação de profundidade apresentou média maior na camada superficial, em relação às demais, para porosidade total, bem como média menor, na mesma camada, para densidade aparente, em relação às demais camadas, confirmando uma desestruturação na camada superficial. A partir de 0,45 m de profundidade não há alterações na densidade aparente, densidade de partículas e porosidade total dos solos. Os limites de confiança obtidos podem ser utilizados como índices de referência para porosidade total e densidade de aparente atributos físicos do solo.

## ABSTRACT

ROSA, Aislann de Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February 2016. **Physical characterization of soils in Noroeste regions and Alto Paranaíba – Minas Gerais**. Advisor: Alberto Carvalho Filho. Co-Advisors: André Mundstock Xavier de Carvalho and Vinicius Ribeiro Faria

The objective of this study was to compare management systems, as well as, create, validate models and benchmarks of soil quality in agricultural production systems, for several indicators of soil physical quality in savannah soils. To obtain the models and benchmarks, five different soils were studied and in its natural state, with its preserved and balanced system under native forest and no human action. Each soil is disturbed and undisturbed samples collected according to a randomized block design with 6:03 repetitions respectively. To compare the management and validation of models and benchmarks systems, experiments were carried out, assembled according to a randomized complete block design with two treatments each having disturbed and undisturbed samples with 3 and 6 repetitions, respectively. The physical attributes of the soil were evaluated: percentage of stable aggregates in water, mean weight diameter, geometric mean diameter, aggregate stability index, total porosity, bulk density, particle density and degree of clay flocculation. All models presented showed high correlation coefficients (> 85) and the significance level of 5% probability. The data demonstrate that for OXISOL 1- pivot there was less porosity in the subsurface layers of 0.15 0.45 m and higher bulk density for the same layers, showing a subsurface compaction. By comparing the OXISOL 2 treatments - killing and OXISOL 2 - pivot, higher values of bulk density and particle density, surface layers to OXISOL 3 - pivot, showing a surface compression. OXISOL 3 treatment - pivot compared to depth showed the highest average in the surface layer, relative to the other, to total porosity as well as lower average in the same layer, for bulk density, relative to the other layers, confirming a breakdown in the layer superficial. From 0.45 m depth there are no changes in bulk density, particle density and porosity of the soil. Three models can be used to estimate the apparent bulk density. The obtained confidence limits can be used as benchmarks for total porosity and density of apparent soil physical properties.

## INTRODUÇÃO GERAL

O cerrado é o segundo maior bioma brasileiro em extensão geográfica, apresenta alta diversidade em espécies vegetais, sazonalidade acentuada e está submetido a um forte processo de antropização devido à expansão da fronteira agrícola e processos de produção agropecuária (PEREIRA et al., 2010). Na medida em que os solos vão sendo incorporados à estes processos consideráveis alterações ocorrem em sua estrutura (ARAÚJO et al., 2007).

A estrutura do solo está relacionada com o crescimento das plantas, uma vez que ela determina a disponibilidade de água, ar e a resistência mecânica ao crescimento das raízes. Os solos agricultáveis das regiões tropicais, por estarem expostos a condições climáticas e de uso agrícola, necessitam de proteção contínua. Geralmente, as práticas de manejo do solo adotadas nessas áreas não condizem com a manutenção da sustentabilidade desse recurso tão importante para o equilíbrio do ecossistema (SOUSA NETO et al., 2013).

Essa avaliação requer o estudo, através de anos sucessivos, dos efeitos sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (REICHERT et al., 2003). No entanto, as práticas de manejo e conservação do solo devem ser planejadas e executadas procurando manter ou mesmo melhorar seus atributos, de modo a aumentar a sua capacidade em sustentar uma adequada produtividade biológica (ARAÚJO, et al., 2007).

O monitoramento da qualidade do solo por meio dos atributos físicos é importante para a manutenção e avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas. A qualidade do solo consiste na capacidade deste de funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens (ARATANI et al., 2009).

Os indicadores escolhidos como base para a avaliação da qualidade do solo em relação à sustentabilidade ambiental devem ser aqueles que mais respondam ao seu uso e manejo, e consigam definir sistemas que ocasionam maiores ou menores impactos (DEXTER, 2004), pois um índice de qualidade do solo deve servir como indicador da capacidade do solo para a produção sustentável das culturas. Assim o monitoramento da qualidade do solo deve ser orientado para detectar tendências de mudanças que são mensuráveis num período relativamente longo (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009).

Goedert et al. (2002) entendem que existe falta de consenso entre pesquisadores, sobre o nível crítico definido para os atributos físicos dos solos, em relação à qualidade do solo. Sendo assim, este trabalho tem por objetivo comparar sistemas de manejo, bem como, obter índices de referência de qualidade física do solo, em sistemas de produção agrícola, para diversos indicadores de qualidade física de solos do cerrado.

# ÍNDICES DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE FÍSICA DE SOLOS DO CERRADO

Aislann de Oliveira Rosa<sup>1</sup>, Alberto Carvalho Filho<sup>2</sup>, André Mundstock Xavier de Carvalho<sup>3</sup>, Vinícius Ribeiro Faria<sup>4</sup>, Diego Antônio de França Freitas<sup>5</sup>

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar, em profundidade, indicadores físicos de qualidade de alguns dos principais solos agricultáveis do cerrado. Foram estudados cinco solos distintos e em seu estado natural, tendo seu sistema preservado e em equilíbrio, sob mata nativa e sem ação antrópica. Cada solo teve amostras deformadas e indeformadas coletadas de acordo com um delineamento em blocos casualizados com 6 e 3 repetições respectivamente. Os atributos físicos do solo avaliados foram: Porcentagem de agregados estáveis em água, diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico, índice de estabilidade de agregados, porosidade total, densidade aparente, densidade de partículas e grau de flocculação de argila. Os maiores valores de massa de agregados foram encontrados na classe de 2,00 mm, exceto para o LATOSSOLO AMARELO de textura média. Os solos em estudo apresentaram valores, de diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e índice de estabilidade de agregados, indicativos de boa estruturação. A Porosidade do solo apresentou diferenças significativas apenas para LATOSSOLO VERMELHO AMARELO. A densidade aparente do LATOSSOLO AMARELO textura argilosa nas camadas superficiais foi menor em relação às demais camadas. O grau de flocculação da argila evidenciou processo de argiluviação para o LATOSSOLO AMARELO textura média e ARGISSOLO VERMELHO. Para os limites de confiança obtidos foi possível observar valores de coeficientes de variação abaixo de 30%.

Palavras – chave: agregados, argissolo, densidade do solo, grau de flocculação de argila, latossolo, porosidade total

## ABSTRACT

### QUALITY BENCHMARKS PHYSICS SAVANNA SOIL

The objective of this study was to evaluate in depth physical indicators of quality of some of the main agricultural soils of the savanna. Five different soils were studied and in its natural state, with its preserved and balanced system under native forest and no human action. Each soil is disturbed and undisturbed samples collected according to a randomized block design with 6 and 03 repetitions respectively. The physical attributes of the soil were evaluated: percentage of stable aggregates in water, mean weight diameter, geometric mean diameter, aggregate stability index, total porosity, bulk density, particle density and degree of clay flocculation. The highest weight aggregates were found in 2.00 mm class, except for the Oxisol-1. The soils studied presented values of mean weight diameter, geometric mean diameter and aggregate stability index, indicative of good structure. Soil Porosity showed significant differences only for Oxisol-2. The bulk density of Oxisol-3 in the surface layers was lower compared to the other layers. The degree of clay flocculation showed Argilluviation for Oxisol-1 and ultisol. For confidence limits obtained was observed values of variation coefficients below 30%.

Key – words: aggregates, ultisol, bulk density, degree of clay flocculation, oxisol, total porosity

---

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Mestrando - Agronomia (Produção Vegetal) na UFV/Rio Paranaíba-MG, aislann.rosa@gmail.com

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Professor na UFV/Rio Paranaíba-MG,albertoufv@gmail.com

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, Professor na UFV/Rio Paranaíba-MG, andremundstock@gmail.com

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Professor na UFV/Rio Paranaíba-MG, virfaria@yahoo.com.br

<sup>5</sup> Engenheiro Agrônomo, Professor na UFV/Florestal-MG, diegofranca@ufv.br

## INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural formado pela ação conjunta dos fatores climáticos e biológicos, controlados pelo relevo que atuam sobre seu material de origem ao longo do tempo. A ação conjunta desses fatores dá-se por adições, transformações, perdas e translocações de materiais no solo, através de processos físicos, químicos e biológicos, sendo assim, considerado um sistema aberto, dinâmico e frágil (EMBRAPA, 2013). O solo está sujeito a alterações em resposta a fatores bióticos e abióticos, tornando-o um sistema complexo, com características e propriedades próprias.

A necessidade de entender e avaliar os indicadores de qualidade do solo tem sido apontado como um dos principais compromissos da ciência do solo (CARDOSO et al., 2013). O conceito de qualidade do solo consiste na capacidade deste de funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens. Portanto, as práticas de manejo e conservação do solo devem ser planejadas e executadas procurando manter ou mesmo melhorar seus atributos, de modo a aumentar a sua capacidade em sustentar uma adequada produtividade biológica (ARAÚJO et al., 2007).

Diante disso, o monitoramento das alterações ocorridas nos atributos de solo em agroecossistemas, condicionadas pelos diferentes sistemas e práticas de manejo, é essencial para definir e traçar estratégias com menores impactos ao meio ambiente.

A melhoria da qualidade do solo cultivável, por meio da utilização de sistemas conservacionistas, como o plantio direto e o cultivo mínimo, permitiu a expansão da agricultura para novas áreas produtoras. Porém, um dos fatores limitantes para a obtenção do potencial máximo de produtividade nestas áreas têm sido as alterações nos atributos físicos do solo, principalmente a compactação, prejudicando a sustentabilidade do sistema plantio direto (SILVA et al., 2004).

É comum relacionar o crescimento radicular em solos compactados com sua densidade. Para cada solo há uma densidade crítica, a partir da qual a resistência torna-se tão elevada que diminui ou impede o crescimento de raízes (ROSEMBERG, 1964; CINTRA & MIELNICZUK, 1983). A densidade do solo crítica é dependente principalmente de sua classe textural. ARGENTON et al. (2005) constataram que, em LATOSSOLO VERMELHO argiloso, a deficiência de aeração inicia-se com densidade do solo próxima de  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ , e KLEIN (2006), para mesma classe de solo, baseado no intervalo hídrico ótimo, observou que a

densidade limitante foi de 1,33 Mg m<sup>-3</sup>. REICHERT et al. (2003) propuseram densidade do solo crítica para algumas classes texturais: 1,30 a 1,40 Mg m<sup>-3</sup> para solos argilosos, 1,40 a 1,50 Mg m<sup>-3</sup> para os franco-argilosos e de 1,70 a 1,80 Mg m<sup>-3</sup> para os franco-arenosos.

A natureza dinâmica de atributos físicos do solo torna o conhecimento dos fatores e mecanismos de sua variação no espaço e no tempo de grande relevância para sua funcionalidade, uma vez que, embora não sejam considerados em si como fatores de crescimento de plantas, exercem influência direta no suprimento de nutrientes, água e ar às raízes (VIANA et al., 2004).

Na medida em que os solos vão sendo incorporados aos processos de produção agropecuária, consideráveis alterações ocorrem e sua estrutura (ARAUJO et al., 2007). De um modo geral, o uso agrícola promove a redução da qualidade física do solo em virtude da retirada da cobertura vegetal e da mecanização excessiva. Por outro lado, a qualidade do solo pode ser mantida ou melhorada com o uso de sistemas de manejo sustentáveis (ARATANI et al., 2009).

O monitoramento da qualidade do solo por meio dos atributos físicos é importante para a manutenção e avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Esse monitoramento pode ser feito por meio de experimentos de longa duração sob sistemas de manejo de solo, de rotação de culturas e áreas com solo em sua condição natural (REICHERT et al., 2003).

Os indicadores escolhidos como base para a avaliação da qualidade do solo em relação à sustentabilidade ambiental devem ser aqueles que mais respondam ao seu uso e manejo, e consigam definir sistemas que ocasionam maiores ou menores impactos (DEXTER, 2004), pois um índice de qualidade do solo deve servir como indicador da capacidade do solo para a produção sustentável das culturas. Assim a caracterização da qualidade do solo é importante para detectar os problemas e indicar ações corretivas necessárias (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009).

Partindo da hipótese de que indicadores de qualidade física de solos em condições naturais podem ser utilizados para definição de índices de referência, este trabalho, teve por objetivo avaliar, em profundidade, indicadores físicos de qualidade em algumas das classes de solos presentes no cerrado, bem como definir intervalos de confiança para classificação de atributos físicos do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

As áreas selecionadas para realização do trabalho contemplam solos em seu estado natural, tendo seu sistema preservado e em equilíbrio, sob mata nativa e sem ação antrópica. Os solos estudados foram classificados de acordo com EMBRAPA (2013), tendo o horizonte diagnóstico, subsuperficial, determinado através de tradagens e trincheiras, em profundidades variáveis em função da morfologia dos mesmos (Tabela 1).

**Tabela 1.** Localidade, altitude, clima e relevo das ordens de solo.

Solo	Horizonte superficial	Cidade	Coordenadas	Altitude	Clima	Precipitação	Relevo
LV	A moderado	PM	18°30'32"S 46°26'47"W	938 m	Cwa	1400 mm	Suave ondulado
LVA	A moderado	CA	19°12'07"S 46°20'32"W	880 m	Cwa	1600 mm	Plano
LAa	A húmico	PT	16°44'30"S 47°06'13"W	899 m	Aw	1400 mm	Plano
LAm	A fraco	BM	16°59'40"S 46°05'10"W	526 m	Aw	1000 mm	Plano
PV	A moderado	PM	18°30'43"S 46°26'38"W	887 m	Cwa	1400 mm	Ondulado

LV: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico; LVA: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico; LAa: LATOSSOLO AMARELO Distrófico, textura argilosa; LAm: LATOSSOLO AMARELO Distrófico, textura média; PV: ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico; PM: Patos de Minas – MG; CA: Campos Altos – MG; PT: Paracatu – MG; BM: Brasilândia de Minas – MG.

Para a caracterização física dos solos, neste trabalho, não houve necessidade de classificações além do terceiro nível categórico estabelecido pela Embrapa (2013). As amostragens para avaliação dos atributos físicos foram realizadas entre os meses de fevereiro de 2014 e abril de 2015.

Amostras deformadas e indeformadas foram coletadas; de 0,15 em 0,15 m até a profundidade de 0,75 m; em trincheiras abertas com dimensões aproximadas de 1,00 m x 1,00 m; em 3 pontos de amostragem aleatoriamente selecionados, para cada tipo de solo, com 3 e 6 repetições, respectivamente. As análises físicas foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Viçosa, Campus de Rio Paranaíba.

Na análise granulométrica utilizou-se o método da pipeta e, na dispersão física do solo, empregou-se um agitador mecânico durante 15 minutos, com utilização de dispersante químico (EMBRAPA, 2011). Na Tabela 2 são apresentadas as características granulométricas dos solos estudados

**Tabela 2.** Caracterização granulométrica dos solos em função das profundidades estudadas.

Camada	Granulometria			Silte/Argila	Grupamento Textural	Classe Textural
	Areia	Silte	Argila			
M	g.Kg <sup>-1</sup>					
LATOSSOLO AMARELO Distrófico, textura média						
0,00-0,15	690,60	169,73	139,67	1,22	Média	Franco-Arenosa
0,15-0,30	763,80	43,87	192,33	0,23	Média	Franco-Arenosa
0,30-0,45	803,60	21,40	175,00	0,12	Média	Franco-Arenosa
0,45-0,60	728,81	87,89	183,30	0,48	Média	Franco-Arenosa
0,60-0,65	724,93	100,07	175,00	0,57	Média	Franco-Arenosa
LATOSSOLO AMARELO Distrófico, textura argilosa						
0,00-0,15	54,40	375,60	570,00	0,66	Argilosa	Argilosa
0,15-0,30	29,00	386,00	585,00	0,66	Argilosa	Argilosa
0,30-0,45	19,13	380,67	600,20	0,63	Argilosa	Argilosa
0,45-0,60	10,40	399,60	590,00	0,68	Argilosa	Argilosa
0,60-0,75	29,95	390,05	580,00	0,67	Argilosa	Argilosa
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico						
0,00-0,15	247,67	222,33	530,00	0,42	Argilosa	Argilosa
0,15-0,30	241,33	230,33	528,34	0,44	Argilosa	Argilosa
0,30-0,45	243,67	253,00	503,33	0,50	Argilosa	Argilosa
0,45-0,60	213,33	256,67	530,00	0,48	Argilosa	Argilosa
0,60-0,75	180,67	269,33	550,00	0,49	Argilosa	Argilosa
LATOSSOLO VERMELHO Distrófico						
0,00-0,15	178,53	348,07	473,40	0,74	Argilosa	Argilosa
0,15-0,30	137,60	292,40	570,00	0,51	Argilosa	Argilosa
0,30-0,45	164,53	215,47	620,00	0,35	Muito argilosa	Argilosa
0,45-0,60	167,07	177,93	655,00	0,27	Muito argilosa	Argilosa
0,60-0,75	157,39	202,40	640,21	0,32	Muito argilosa	Argilosa
ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico						
0,00-0,15	208,60	601,40	190,00	3,17	Média	Franco-siltosa
0,15-0,30	206,80	591,53	201,67	2,93	Média	Franco-siltosa
0,30-0,45	178,93	587,73	233,34	2,52	Média	Franco-siltosa
0,45-0,60	192,20	512,65	295,15	1,74	Média	Franco-argilo-siltosa
0,60-0,75	222,07	459,27	318,66	1,44	Média	Franco-argilosa

A estabilidade dos agregados foi obtida por via úmida, tendo as amostras coletadas com o auxílio de enxadão e pá de corte, e analisadas pelo procedimento descrito por KEMPER & ROSENAU (1986), ou seja, 100g dos agregados selecionados foram pré-umedecidos por capilaridade, transferidos para um conjunto com peneiras de 2,00; 1,00; 0,50; e 0,25 mm de malha e submetidos a agitação vertical durante 15 min com rotação de 42 ciclos por minutos, imersos em recipiente com água (YODER, 1936). O solo retido em cada peneira foi acondicionado em recipientes, para secagem em estufa a 105 °C, durante 24h. Em seguida pesou-se e calculou-se a massa e a porcentagem de agregados estáveis em cada uma das classes de diâmetro de agregados.

Os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) foram obtidos segundo KEMPER & ROSENAU (1986), e o índice de estabilidade de agregados (IEA) de acordo com Castro Filho et al. (1998), através das expressões:

$$DMP = \sum(x_i w_i) \quad (1)$$

em que: DMP = diâmetro médio ponderado (mm);  $x_i$  = diâmetro médio entre classes (mm); e  $w_i$  = fração em peso da classe em relação ao peso da amostra total.

$$DMG = \text{EXP} \sum(w_p \log x_i/w_i) \quad (2)$$

em que: DMG = diâmetro médio geométrico (mm);  $w_p$  = peso dos agregados de cada classe (g).

$$IEA = (\text{Peso da amostra} - w_{p250\text{-areia}}) / (\text{peso da amostra} - \text{areia}) 100 \quad (3)$$

em que: IEA = índice de estabilidade de agregados;  $w_{p250}$  = peso dos agregados da classe <0,25 mm.

A porosidade total foi determinada através da saturação completa das amostras indeformadas. Estas foram pesadas e levadas à estufa a 105 °C, por 24 horas e em seguida, pesadas novamente, assim, por diferença de massa do solo saturado pelo solo seco em estufa, obtém-se a massa de água referente ao volume total de poros do solo ou a porcentagem de saturação de água convertida em volume.

A densidade aparente foi obtida, também, por meio de amostras de solo com estrutura indeformada através de um anel de aço (Koppeck) de bordas cortantes e volume interno de 69,24 cm<sup>3</sup>. As amostras foram retiradas e secas a temperatura de 105°C, até obtenção de massa constante (24 horas). Em seguida, pesadas para a obtenção dos valores de densidade do solo.

Já a densidade de partículas foi determinada através da expressão (Embrapa, 2011):

$$D_p = D_a / (1 - P_t) \quad (4)$$

em que  $D_p$  = densidade de partículas (Mg.m<sup>-3</sup>);  $D_a$  = densidade aparente (Mg.m<sup>-3</sup>);  $P_t$  = porosidade total (m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>).

Também foi analisado o grau de flocculação das argilas através da relação entre a argila naturalmente dispersa e a argila total (Embrapa, 2011), obtida após dispersão, onde:

$$\text{Grau de Flocculação} = 100 (\text{argila total} - \text{argila dispersa em água}) / \text{argila total} \quad (5)$$

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância após verificação dos critérios de normalidade e homogeneidade das variâncias dos erros experimentais, através dos testes de assimetria e curtose, e Cochran, respectivamente, permitindo, assim, que as médias fossem comparadas pelo teste de Tukey ao nível 5% de probabilidade. Para obtenção dos índices de referência as médias distintas das médias da camada mais profunda (0,60-0,75 m) das diferentes classes de solos foram eliminadas, pois segundo GUARESCHI et al. (2012), nas camadas mais superficiais há o acúmulo dos resíduos vegetais, causando o contínuo aporte de matéria orgânica nas mesmas, podendo, ou não, causar alterações nas suas propriedades físicas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

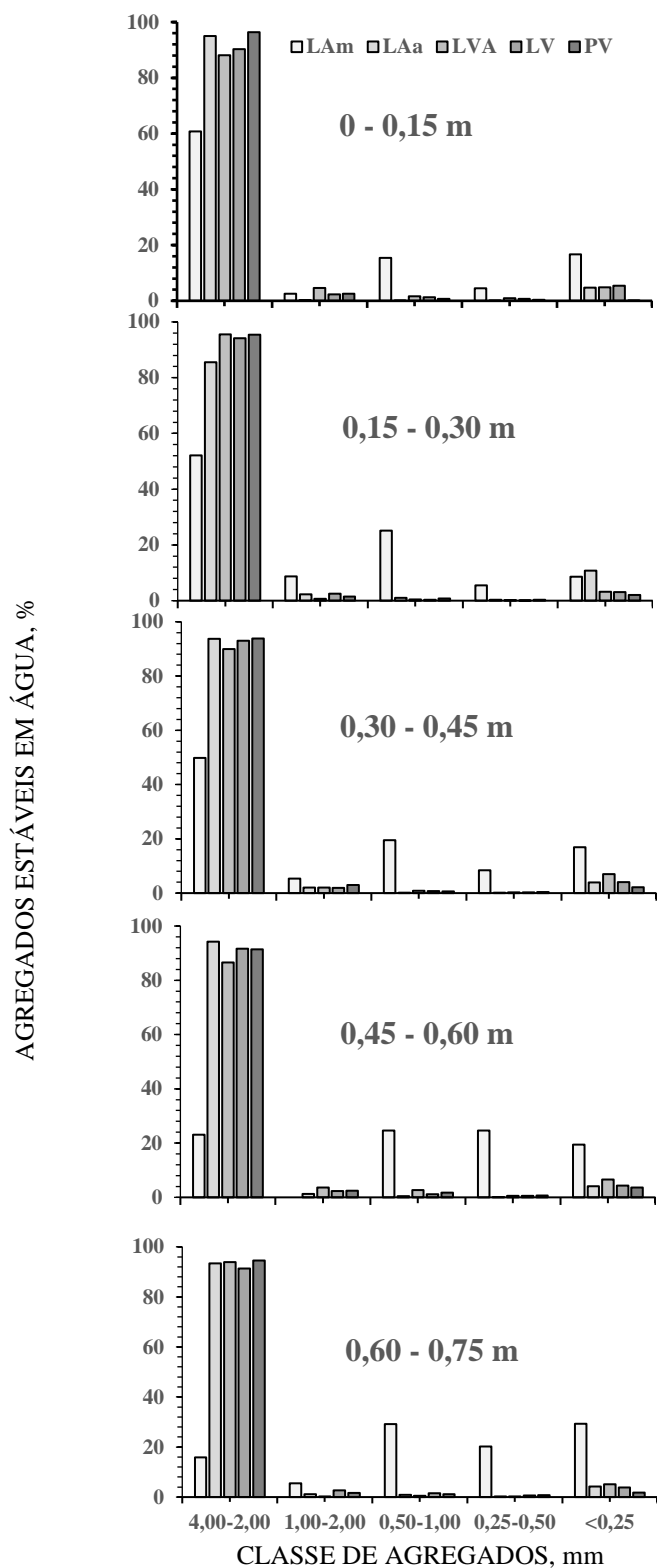
Em relação à distribuição da massa dos agregados estáveis em água, observou-se que, independente da profundidade e do tamanho de peneira, que os maiores valores de massa de agregados foram encontrados na classe maior que 2,00 mm, enquanto os menores percentuais ficaram para as demais classes de agregados, seguindo o mesmo padrão de distribuição de classes nos diferentes solos, exceto para o LATOSSOLO AMARELO Distrófico, textura média, na camada de 0,45 – 0,75 m (Figura 1).

O comportamento da agregação do LATOSSOLO AMARELO Distrófico, textura média, é decorrente da presença de menores teores de óxidos de Fe e Al, que são responsáveis em exercer papel preponderante à matéria orgânica na estabilização dos agregados do solo (SIX et al., 2002), uma vez que, o mesmo apresenta menores teores de argila, em relação aos demais solos.

A maior massa de agregados retida na peneira de 2,00 mm é decorrente dos sistemas preservados e em equilíbrio, beneficiando a formação de agregados de maior tamanho e estáveis em água. Agregados estáveis em água contribuem para melhoria da porosidade, e consequentemente, maior infiltração e resistência à erosão (MATOS et al., 2008). Os agregados não estáveis, quando na superfície, tendem a desaparecer e dispersar-se sob o impacto das gotas de chuva (COUTINHO et al., 2010).

Segundo TAVARES FILHO et al. (2012) a estabilidade de agregados apresentou valores de diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e índice de estabilidade de agregados, indicativos de boa estruturação, exceto para o LATOSSOLO AMARELO Distrófico, textura média (Tabela 3). Para estes autores, valores de diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico acima de 2,00 mm e valores de índice de estabilidade de agregados acima de 90%, caracterizam boa estruturação do solo. A maior desestruturação do LATOSSOLO AMARELO Distrófico, textura média, em relação aos demais solos, pode ser atribuído por processos de natureza mineralógica (SIX et al., 2002).

A influência positiva da argila na agregação do solo é conhecida e estudada na literatura (CASTRO FILHO et al., 1998; RIBON & TAVARES FILHO, 2008). Ao observar o índice de estabilidade de agregados do LATOSSOLO AMARELO Distrófico textura média (Tabela 3.), a camada subsuperficial de 0,15 a 0,30 m verifica-se médias maiores em relação a camada mais profunda (0,60 – 0,75 m), fato muito provavelmente ocasionado pela maior quantidade de argila apresentado (Tabela 2).



LAm: LATOSSOLO AMARELO Distrófico, textura média; LAa: LATOSSOLO AMARELO Distrófico, textura argilosa; LVA: LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico; LV: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico; PV: ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico.

**Figura 1.** Distribuição dos agregados por peneiramento via úmida, nos solos e profundidades estudados.

O LATOSSOLO AMARELO Distrófico de textura argilosa apresentou valores de diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e índice de estabilidade de agregados, menores na camada de 0,15 a 0,30 m, em relação as demais camadas avaliadas, bem como o LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico apresentaram valores, para os mesmos atributos e na mesma camada, maiores em relação as demais camadas avaliadas, contrariando a observação de WENDLING et al., (2005), que evidenciou maiores valores de diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e índice de estabilidade de agregados, na camada superficial do solo.

**Tabela 3.** Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade de agregados (IEA) dos solos, em função das profundidades estudadas.

Camada	Solos					
	M	LAm	LAA	LVA	LV	PV
				DMP (mm)		
0-0,15	2,02 a	2,86 a	2,73 d	2,77 a	2,93 a	
0,15-0,30	1,92 a	2,63 b	2,88 a	2,87 a	2,90 a	
0,30-0,45	1,79 a	2,85 a	2,75 c	2,83 a	2,87 a	
0,45-0,60	1,13 a	2,85 a	2,69 e	2,81 a	2,80 a	
0,60-0,75	0,91 a	2,84 a	2,83 b	2,80 a	2,88 a	
CV (%)	26,55	1,33	0,12	3,78	2,80	
				DMG (mm)		
0-0,15	1,49 a	2,63 a	2,48 c	2,51 a	2,91 a	
0,15-0,30	1,55 a	2,16 b	2,71 a	2,70 a	2,78 a	
0,30-0,45	1,41 a	2,65 a	2,41 d	2,62 a	2,75 a	
0,45-0,60	1,16 a	2,64 a	2,35 e	2,58 a	2,61 a	
0,60-0,75	0,82 a	2,61 a	2,58 b	2,59 a	2,77 a	
CV (%)	21,48	3,86	0,21	7,06	6,27	
				IEA (%)		
0-0,15	83,33 ab	95,29 a	95,18 b	94,64 a	99,89 a	
0,15-0,30	91,45 a	89,27 b	96,77 a	96,97 a	97,97 a	
0,30-0,45	83,15 ab	96,10 a	93,05 d	95,92 a	97,85 a	
0,45-0,60	80,53 ab	95,91 a	93,42 c	95,72 a	96,32 a	
0,60-0,75	70,68 b	95,75 a	94,95 b	96,19 a	98,21 a	
CV (%)	6,83	1,98	0,09	1,83	2,04	

As médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

LAm: LATOSSOLO AMARELO Distrófico, textura média; LAA: LATOSSOLO AMARELO Distrófico, textura argilosa; LVA: LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico; LV: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico; PV: ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico; CV: Coeficiente de Variação.

Vale ressaltar que o diâmetro médio ponderado será maior quanto maior for a proporção da classe de agregados de maior tamanho, ao passo que o diâmetro médio geométrico representa apenas uma estimativa das classes de maior ocorrência.

**Tabela 4.** Porosidade total, densidade aparente, densidade de partículas e grau de flocculação dos solos, em função das profundidades estudadas.

Camada	Solos				
	M	LAm	LAA	LVA	LV
Porosidade Total (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )					
0-0,15	0,18 a	0,39 a	0,36 a	0,40 a	0,34 a
0,15-0,30	0,14 a	0,37 a	0,32 ab	0,36 a	0,31 a
0,30-0,45	0,14 a	0,39 a	0,33 ab	0,38 a	0,35 a
0,45-0,60	0,14 a	0,36 a	0,33 ab	0,37 a	0,31 a
0,60-0,75	0,15 a	0,35 a	0,31 b	0,35 a	0,33 a
CV (%)	16,41	10,61	7,61	10,65	11,31
Densidade Aparente (Mg.m <sup>-3</sup> )					
0-0,15	2,33 a	1,16 b	1,41 a	1,34 a	1,59 a
0,15-0,30	2,37 a	1,18 b	1,55 a	1,42 a	1,78 a
0,30-0,45	2,48 a	1,23 b	1,47 a	1,39 a	1,61 a
0,45-0,60	2,51 a	1,40 a	1,44 a	1,44 a	1,75 a
0,60-0,75	2,37 a	1,39 a	1,43 a	1,47 a	1,50 a
CV (%)	6,64	8,92	6,78	10,83	11,28
Densidade de Partículas (Mg.m <sup>-3</sup> )					
0-0,15	2,84 a	1,90 b	2,19 ab	2,21 a	2,41 a
0,15-0,30	2,77 a	1,87 b	2,27 a	2,22 a	2,56 a
0,30-0,45	2,88 a	2,01 ab	2,20 ab	2,25 a	2,46 a
0,45-0,60	2,91 a	2,17 a	2,13 ab	2,27 a	2,53 a
0,60-0,75	2,80 a	2,16 a	2,08 b	2,24 a	2,25 a
CV (%)	4,19	7,23	3,76	7,34	7,71
Grau de Flocculação (%)					
0-0,15	54,94 b	94,75 a	91,13 a	82,78 a	42,93 c
0,15-0,30	69,08 ab	93,36 a	91,48 a	86,49 a	59,52 b
0,30-0,45	65,22 ab	95,07 a	89,82 a	87,86 a	66,11 ab
0,45-0,60	75,58 a	93,04 a	91,45 a	87,37 a	79,29 a
0,60-0,75	75,16 a	95,62 a	89,78 a	89,15 a	73,39 ab
CV (%)	7,70	3,26	0,67	4,81	7,97

As médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

LAm: LATOSSOLO AMARELO Distrófico, textura média; LAA: LATOSSOLO AMARELO Distrófico, textura argilosa; LVA: LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico; LV: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico; PV: ARGISSOLO VERMELHO Eutrófico; CV: Coeficiente de Variação.

A porosidade do solo (Tabela 4.) apresentou diferenças significativas apenas para o LATOSSOLO VERMELHO AMARELO textura argilosa, onde observamos maior porosidade na camada superficial do solo (0-15 cm) em relação a camada mais profunda (0,60-75). ARATANI et al. (2009) afirmam que a porosidade é fortemente influenciada pela textura e pelo teor de matéria orgânica, sendo assim, como não houve grande variação na textura do LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, tal diferença, possivelmente foi dada por um maior teor de matéria orgânica na superfície do solo, observada visualmente. A mesma justificativa pode ser usada para explicar a menor densidade aparente do LATOSSOLO AMARELO textura argilosa nas camadas superficiais (0 – 0,45 m), devido a matéria orgânica do solo observada de acordo com identificação do horizonte A Húmico.

Por consequência das variações das médias de porosidade total e densidade aparente, para LATOSSOLO VERMELHO AMARELO e LATOSSOLO AMARELO textura argilosa, houve também diferenças na densidade de partículas.

O grau de flocculação da argila evidenciou processo de argiluviação para o LATOSSOLO AMARELO textura média e ARGISSOLO VERMELHO, uma vez que houve valores menores na camada superficial em relação as camadas mais profundas, o que significa que a argila dispersa migrou para camadas mais profundas evidenciando maiores teores de argila na mesma (OLIVEIRA et al., 2010).

Para os limites de confiança obtidos (Tabela 5.) é possível observar valores de coeficientes de variação, abaixo de 30%, indicando boa confiabilidade para todos atributos físicos (MESQUITA & MORAES, 2004), exceto para o diâmetro médio ponderado do LATOSSOLO AMARELO textura média.

As médias dos LATOSSOLOS textura argilosa foram muito semelhantes entre si, dentre as ordens amostradas neste estudo, somente estas apresentam estrutura granular, que proporciona simultaneamente maior porosidade e menor densidade. Entretanto, solos com estrutura predominantemente em blocos ou prismas tendem a apresentar maior densidade, por causa da menor porosidade, em condições de textura e mineralogia similar (PÁDUA et al., 2015).

REICHERT et al. (2003) consideram  $1,55 \text{ Mg.m}^{-3}$  como densidade crítica para o bom crescimento do sistema radicular em solos de textura média. Para PÁDUA et al. (2015), a densidade do solo sob vegetação nativa variou entre 0,66 e  $1,74 \text{ kg Mg.m}^{-3}$ , valores inferiores aos obtidos para o LATOSSOLO AMARELO textura média, possivelmente devido ao mesmo possuir características mineralógicas distintas dos demais solos estudados.

**Tabela 5.** Limites de confiança, inferior e superior, da média ao nível de significância de 95% de probabilidade para porosidade total, densidade aparente, densidade de partículas e grau de flocculação da argila, diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e índice de estabilidade de agregados.

Solo	Limite de confiança inferior da média	Limite de confiança superior da média	Coefficiente de variação	Repetições
	95% de probabilidade	95% de probabilidade	%	
Porosidade total (m <sup>-3</sup> .m <sup>-3</sup> )				
LAm	0,13	0,17	19,00	15
LAa	0,36	0,38	11,08	30
LVA	0,31	0,33	8,12	24
LV	0,36	0,38	10,24	30
PV	0,31	0,34	11,72	30
Densidade aparente (Mg.m <sup>-3</sup> )				
LAm	2,31	2,51	7,16	15
LAa	1,36	1,43	5,50	18
LVA	1,42	1,50	7,81	30
LV	1,36	1,46	9,62	30
PV	1,57	1,72	12,48	30
Densidade de partículas (Mg.m <sup>-3</sup> )				
LAm	2,76	2,91	4,59	15
LAa	2,06	2,16	5,83	27
LVA	2,11	2,19	4,04	18
LV	2,19	2,29	6,54	30
PV	2,37	2,52	8,51	30
Grau de flocculação (%)				
LAm	65,79	76,74	11,58	12
LAa	92,77	95,96	2,95	15
LVA	90,20	91,26	1,02	15
LV	84,50	88,96	4,50	15
PV	60,68	72,00	10,45	9
Diâmetro médio ponderado (mm)				
LAm	1,22	1,88	37,09	15
LAa	2,84	2,87	0,77	12
LVA	2,82	2,85	0,20	4
LV	2,76	2,87	3,18	15
PV	2,83	2,92	2,95	15
Diâmetro médio geométrico (mm)				
LAm	1,07	1,50	28,84	15
LAa	2,60	2,66	1,87	12
LVA	2,56	2,61	0,43	4
LV	2,51	2,69	6,17	15
PV	2,66	2,87	6,46	15
Índice de estabilidade de agregados (%)				
LAm	73,94	84,91	10,41	12
LAa	95,31	96,22	0,71	12
LVA	94,77	95,36	0,27	6
LV	94,89	96,89	1,83	15
PV	96,91	99,19	2,03	15

LAm: LATOSSOLO AMARELO textura média; LAa: LATOSSOLO AMARELO textura argilosa; LVA: LATOSSOLO VERMELHO AMARELO; LV: LATOSSOLO VERMELHO; NV: NITOSSOLO VERMELHO.

## CONCLUSÕES

- Maiores valores de massa de agregados foram encontrados na classe maior que 2,00 mm, exceto para o LATOSSOLO AMARELO Distrófico, textura média, na camada de 0,45 – 0,75 m;
- O grau de flocculação da argila evidenciou valores menores na camada superficial em relação as camadas mais profundas;
- A porosidade total e a densidade aparente são bons indicadores de qualidade física do solo;
- Para os limites de confiança obtidos os valores de coeficientes de variação foram abaixo de 30%.

## REFERÊNCIAS

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um latossolo vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.677-687, 2009.

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**, v.31, p.1099-1108, 2007.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C. & WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.425-435, 2005.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS R. L. F.; BINI D.; MIYAUCHI M.Y.H.; SANTOS C. A.; ALVES P. R. L.; PAULA A. M.; NAKATANI A. S.; PEREIRA J. M.; NOGUEIRA M. A. Soil health: Looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, v.70, p.274-89, 2013.

CASTRO FILHO, C.; MUZZILI O.; PODANOSCHI, A. L. O teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico em função de sistemas de plantio, rotação de culturas e métodos de preparo de amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p. 527-538, 1998.

CINTRA, F.L.D. & MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.197-201, 1983.

COUTINHO, F. S.; LOSS A.; PEREIRA, M. G.; RODRIGUES JUNIOR, D. J.; TORRES, J. L. R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae**, v.1, n.2, 2010.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v.120, p.201-214, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Solos, 2013. 353p.

GUARESCHI R. F.; PEREIRA M.G.; PERIN A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.909-920, 2012.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of Soil Analysis**. Wisconsin: Soil Science Society of America, 1986. p.425-441.

KLEIN, V.A. Densidade relativa - Um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista Ciência Agronomica**, v.5, p.26-32, 2006.

MATOS, E.S.; MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, J. C. C. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em argissolo sob adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.9, p.1221-1230, 2008.

MESQUITA, M. G. B. F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v.34, n.3, p.963-969, 2004.

OLIVEIRA, V. S.; ROLIM, M. M.; VASCONCELOS, R. F. B.; PEDROSA, E. M. R. Distribuição de agregados e carbono orgânico em um argissolo amarelo distrocoeso em diferentes manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.9, p.907-913, 2010.

PÁDUA, E. J., GUERRA, A. R. E ZINN, Y. L. Modelagem da Densidade do Solo em Profundidade sob Vegetação Nativa em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.3, p.725-736, 2015.

RIBON, A.A.; TAVARES FILHO, J. Estimativa da resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho sob cultura perene no norte do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1817-1825, 2008.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, v.27, p.29-48, 2003.

ROSEMBERG, N.J. Response of plants to the physical effects of soil compaction. **Adv. Agron.** v.16, p.181-196, 1964.

SILVA, A.P.; IMHOFF, S.; KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Scientia Agricola**, v.61, n.4, p.451-456, 2004.

SIX, J.; CALLEWAERT, P.; LENDERS, S.; DE GRYZE. S.; MORRIS. S. J.; GREGORICH, E. G.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K. Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. **Soil Science Society American Journal**, v.66, p.1981-1987, 2002.

TAVARES FILHO, J.; FELTRAN, C. T. M.; OLIVEIRA J. F.; ALMEIDA, E.; GUIMARÃES, M. F. Atributos de solo determinantes para a estimativa do índice de estabilidade de agregados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.3, p.436-441, 2012.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.743-755, 2009.

VIANA, J.H.M.; FERNANDES FILHO E.; SCHAEFER C.E.G.R. Efeitos de ciclos de umedecimento e secagem na reorganização da estrutura microgranular de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.11-19, 2004.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; SÁ MENDONÇA, E.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n.5, p.487-494, 2005.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of American Society of Agronomy**, v.28, p.337- 351, 1936.

# AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FÍSICA DE LATOSSOLOS DO CERRADO SUBMETIDOS A DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO

Aislann de Oliveira Rosa<sup>1</sup>, Alberto Carvalho Filho<sup>2</sup>, André Mundstock Xavier de Carvalho<sup>3</sup>, Vinícius Ribeiro Faria<sup>4</sup>, Diego Antônio de França Freitas<sup>5</sup>

## RESUMO

O objetivo neste trabalho foi comparar sistemas de manejo, bem como, validar modelos e índices de referência de qualidade do solo, em sistemas de produção agrícola, para diversos indicadores de qualidade física do solo, em LATOSSOLOS do cerrado. Foram realizados três estudos por amostragem, com dois tratamentos cada, tendo amostras deformadas e indeformadas coletadas, com 3 e 6 repetições, respectivamente. Os tratamentos do primeiro experimento consistem em dois LATOSSOLOS AMARELO com textura média, um em seu estado natural e outro sob manejo convencional do solo. O segundo experimento refere-se a dois LATOSSOLOS VERMELHO AMARELO com textura argilosa, tendo como tratamentos um em seu estado natural e outro sob sistema de plantio direto na palha. Já o terceiro experimento trata-se de dois LATOSSOLOS VERMELHO textura muito argilosa, tendo um de seus tratamentos solo em estado natural, e outro sob sistema de manejo convencional. Os atributos físicos do solo avaliados foram: porosidade total, densidade aparente, densidade de partículas, diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e índice de estabilidade de agregados. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Os resultados de alguns atributos físicos dos solos sob pivô foram comparados com os modelos, pré-determinados, a fim valida-los experimentalmente. Todos os dados obtidos foram comparados com índices de referência. Os dados demonstram que para o LATOSSOLO AMARELO – pivô houve uma menor porosidade total nas camadas subsuperficiais de 0,15 a 0,45 m, bem como maior densidade aparente para as mesmas camadas, evidenciando uma compactação subsuperficial. Ao comparar os tratamentos LATOSSOLO VERMELHO AMARELO – mata e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO – pivô, maiores valores de densidade aparente e densidade de partículas, nas camadas superficiais para LATOSSOLO VERMELHO AMARELO – pivô, evidenciando uma compactação superficial. O tratamento LATOSSOLO VERMELHO – pivô em comparação de profundidade apresentou média maior na camada superficial, em relação às demais, para porosidade total, bem como média menor, na mesma camada, para densidade aparente, em relação às demais camadas, confirmando uma desestruturação na camada superficial. Os índices de referência estabelecem valores, em intervalos determinados, compatíveis com as médias apresentadas nas variáveis porosidade total e densidade aparente dos tratamentos com mata nativa.

Palavras – chave: agregados, densidade, física do solo, funções de pedotransferência, qualidade do solo, porosidade total

---

<sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Mestrando - Agronomia (Produção Vegetal) na UFV/Rio Paranaíba-MG, aislann.rosa@gmail.com

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo, Professor na UFV/Rio Paranaíba-MG,albertoufv@gmail.com

<sup>3</sup> Engenheiro Agrônomo, Professor na UFV/Rio Paranaíba-MG, andremundstock@gmail.com

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo, Professor na UFV/Rio Paranaíba-MG, virfaria@yahoo.com.br

<sup>5</sup> Engenheiro Agrônomo, Professor na UFV/Florestal-MG, diegofranca@ufv.br

## ABSTRACT

### QUALITY ASSESSMENT OF PHYSICS OXISOLS CLOSED SUBJECT TO DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS

The objective of this study was to compare management systems, as well as validate models and benchmarks of soil quality in agricultural production systems, for several indicators of soil physical quality in the Savanna Oxisols. Three experiments were conducted, assembled according to a randomized complete block design with two treatments each having disturbed and undisturbed samples with 3 and 06 repeats, respectively. Treatments of the first experiment consists of two Oxisols with medium texture, in its natural state and another under conventional soil management. The second experiment refers to two Oxisols with clay texture, with the treatments one in its natural state and another under no-tillage system in straw. The third experiment it is two Oxisols clayey, with one of its soil treatments in its natural state, and another under conventional management system. The physical attributes of the soil were evaluated: total porosity, bulk density, particle density, mean weight diameter, geometric mean diameter and aggregate stability index. The data were submitted to analysis of variance. The results of some physical properties of soils pivot models were compared with pre-determined, in order to validate them experimentally. All data were compared with reference data. The data demonstrate that for oxisol - pivot there was less porosity in the subsurface layers of 0.15 0.45 m and higher bulk density for the same layers, showing a subsurface compaction. By comparing the oxisol treatments - killing and oxisol - pivot, higher values of bulk density and particle density, surface layers to oxisol - pivot, showing a surface compression. oxisol treatment - pivot compared to depth showed the highest average in the surface layer, relative to the other, to total porosity as well as lower average in the same layer, for bulk density, relative to the other layers, confirming a breakdown in the layer superficial. From 0.45 m depth there are no changes in bulk density, particle density and porosity of the soil and can be used as a reference to its natural state for these attributes

Key – words: aggregates, density, soil physics, pedotransfer functions, soil quality, total porosity

## INTRODUÇÃO

O solo é formado por processos resultantes de fatores bióticos e abióticos que determinam a sua constituição e o seu comportamento em ambiente natural. A interação e a intensidade destes fatores dão origem a solos com diferentes características, que permitem definir sua aptidão para o uso agrícola, dentre outros usos (RESENDE et al. 2007).

Assim, a incorporação de áreas nativas de cerrado ao processo produtivo agropecuário leva à ruptura do equilíbrio natural dos solos. Uma estratégia para avaliar se um solo está sendo usado de modo sustentável baseia-se na adoção do enfoque de qualidade do solo proposto por DORAN & PARKIN (1994).

Entretanto há dificuldades na seleção das propriedades do solo que devem ser avaliadas, bem como os valores que devem ser considerados como adequados ou ideais, uma vez que estes variam com o tipo de solo (ARSHAD & MARTIN 2002).

A preocupação com a qualidade do solo tem crescido, na medida em que o seu uso e mobilização intensiva possam resultar na diminuição da sua capacidade de manter uma produção biológica sustentável (CARVALHO et al. 2004).

O nível de alteração na qualidade do solo pode ser avaliado pela mensuração do estado atual de determinados atributos e a comparação destes com os seus correspondentes no estado natural do solo, sem interferência antrópica, ou com valores que são considerados ideais (DORAN & PARKIN 1994). Neste caso, as dificuldades residem em definir os valores considerados adequados ou ideais, os quais podem variar, de acordo com a classe de solo investigada (ARSHAD & MARTIN 2002).

Uma das propostas mais objetivas sugere definir, explicitamente, as funções que determinam a qualidade do solo, identificar os atributos de cada função e, então, selecionar um conjunto mínimo de indicadores, para medir cada uma destas funções previamente definidas (DORAN & PARKIN 1994, NORTCLIFF 2002).

Assim, a literatura mostra vários trabalhos envolvendo a análise de atributos físicos, químicos e biológicos dos solos, que podem ser utilizados para avaliar diferentes usos e manejos, em estudos de sustentabilidade dos solos, podendo-se citar MELLONI et al. (2008). No cerrado, destaca-se o trabalho realizado por ARAÚJO et al. (2007), no qual o estudo de atributos químicos, físicos e biológicos de um LATOSSOLO VERMELHO, sob tipos diferenciados de uso, permitiu avaliar a sustentabilidade do LATOSSOLO estudado, a qual mostrou-se distinta, nos usos diversificados.

No entanto, GEODERT et al. (2002) entendem que existe falta de consenso entre pesquisadores, sobre o nível de referência definido para os atributos físicos dos solos, em relação à qualidade do solo.

Sendo assim, este trabalho tem por objetivo comparar sistemas de manejo em sistemas de produção agrícola, para diversos indicadores de qualidade física do solo, em LATOSSOLOS do cerrado.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em diversas propriedades compreendidas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Localidade, altitude, clima e relevo das ordens de solo.

Solo	Cidade	Coordenadas	Altitude	Clima	Precipitação	Relevo
LA mata	BM	16°59'40"S 46°05'10"O	938 m	Cwa	1400 mm	Suave ondulado
LA pivô	BM	17°00'31"S 46°05'03"O	880 m	Cwa	1600 mm	Plano
LV mata	PM	18°30'18"S 46°27'49"O	899 m	Aw	1400 mm	Plano
LV pivô	RP	19°11'31"S 46°23'50"O	902 m	Aw	1400 mm	Plano
LVA mata	CA	19°28'15"S 46°19'32"O	526 m	Aw	1000 mm	Plano
LVA pivô	CA	19°26'58"S 46°17'11"O	887 m	Cwa	1400 mm	Ondulado

LA mata: LATOSSOLO AMARELO - mata; LA pivô: LATOSSOLO AMARELO – pivô; LV mata: LATOSSOLO VERMELHO – mata; LV pivô: LATOSSOLO VERMELHO – pivô; LVA mata: LATOSSOLO VERMELHO AMARELO – mata ; LVA pivô: LATOSSOLO VERMELHO AMARELO – pivô; BM: Brasilândia de Minas – MG; PM: Patos de Minas – MG; RP: Rio Paranaíba – MG; CA: Campos Altos – MG.

Foram realizados três estudos por amostragem, com dois tratamentos cada, tendo amostras deformadas e indeformadas coletadas, de 0,15 em 0,15 m até a profundidade de 0,75 m, em trincheiras abertas com dimensões aproximadas de 1,00 m x 1,00 m; em 3 pontos de amostragem aleatoriamente selecionados, para cada tratamento, com 3 e 6 repetições, respectivamente.

Os tratamentos do primeiro consistiram em dois LATOSSOLOS AMARELO com textura média, sendo um em seu estado natural, com seu sistema preservado, sob mata nativa e sem ação antrópica, denominado “LATOSSOLO AMARELO – mata”; e outro sob manejo convencional do solo e rotação de culturas (cereais e oleaginosas), em pivô central de irrigação, denominado “LATOSSOLO AMARELO – pivô”.

O segundo, refere-se a dois LATOSSOLOS VERMELHO AMARELO com textura argilosa, tendo como tratamentos um em seu estado natural, com sistema preservado e em equilíbrio, sob mata nativa e sem ação antrópica, denominado “LATOSSOLO VERMELHO AMARELO – mata” e outro sob sistema de plantio direto na palha, em pivô central de irrigação, denominado “LATOSSOLO VERMELHO AMARELO – pivô”.

Já o terceiro, trata-se de dois LATOSSOLOS VERMELHO textura muito argilosa, tendo um de seus tratamentos solo em estado natural, com sistema preservado e em equilíbrio, sob mata nativa e sem ação antrópica, denominado “LATOSSOLO VERMELHO – mata” e outro sob sistema de manejo convencional, seguido de subsolagem e desestruturação por meio de enxada rotativa, em pivô central de irrigação, cultivado com hortifrúti em sucessão com cereais e/ou oleaginosas, denominado “LATOSSOLO VERMELHO – pivô”.

As amostragens para avaliação dos atributos físicos foram realizadas entre os meses de fevereiro de 2014 e abril de 2015. Em todos os tratamentos sob pivô central de irrigação, de todos os experimentos, as amostras foram coletadas sob palhada e imediatamente após o cultivo de milho.

As análises físicas foram realizadas no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Viçosa, Campus de Rio Paranaíba.

Na análise granulométrica utilizou-se o método da pipeta e, na dispersão física do solo, empregou-se um agitador orbital mecânico durante 15 min, com utilização de dispersante químico (EMBRAPA, 2011). Na Tabela 2 são apresentadas as características de textura dos solos estudados.

**Tabela 2.** Caracterização granulométrica dos solos em função das profundidades estudadas.

Camada m	Granulometria			Silte/Argila	Grupamento Textural	Classe Textural
	Areia	Silte	Argila			
LATOSSOLO AMARELO - mata						
0-0,15	690,60	169,73	139,67	1,22	Média	Franco-Arenosa
0,15-0,30	763,80	43,87	192,33	0,23	Média	Franco-Arenosa
0,30-0,45	803,00	22,00	175,00	0,13	Média	Franco-Arenosa
0,45-0,60	728,81	87,89	183,30	0,48	Média	Franco-Arenosa
0,60-0,65	724,93	100,07	175,00	0,57	Média	Franco-Arenosa
LATOSSOLO AMARELO - pivô						
0-0,15	552,00	339,33	108,67	3,12	Média	Franco-Arenosa
0,15-0,30	718,00	113,33	168,67	0,67	Média	Franco-Arenosa
0,30-0,45	741,00	65,00	194,00	0,34	Média	Franco-Arenosa
0,45-0,60	729,00	67,33	203,67	0,33	Média	Franco-Arenosa
0,60-0,75	751,00	95,00	154,00	0,62	Média	Franco-Arenosa
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO – mata						
0-0,15	247,67	222,33	530,00	0,42	Argilosa	Argilosa
0,15-0,30	241,33	230,33	528,34	0,44	Argilosa	Argilosa
0,30-0,45	243,67	253,00	503,33	0,50	Argilosa	Argilosa
0,45-0,60	213,33	256,67	530,00	0,48	Argilosa	Argilosa
0,60-0,75	180,67	269,33	550,00	0,49	Argilosa	Argilosa
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO – pivô						
0-0,15	234,00	319,00	447,00	0,71	Argilosa	Argilosa
0,15-0,30	233,00	314,00	453,00	0,69	Argilosa	Argilosa
0,30-0,45	172,00	340,00	488,00	0,70	Argilosa	Argilosa
0,45-0,60	224,00	323,00	453,00	0,71	Argilosa	Argilosa
0,60-0,75	170,00	341,00	489,00	0,70	Argilosa	Argilosa
LATOSSOLO VERMELHO – mata						
0-0,15	178,53	348,07	473,40	0,74	Argilosa	Argilosa
0,15-0,30	137,60	292,40	570,00	0,51	Argilosa	Argilosa
0,30-0,45	164,53	215,47	620,00	0,35	Muito Argilosa	Argilosa
0,45-0,60	167,07	177,93	655,00	0,27	Muito Argilosa	Argilosa
0,60-0,75	157,39	202,40	640,21	0,32	Muito Argilosa	Argilosa
LATOSSOLO VERMELHO – pivô						
0-0,15	134,33	297,67	568,00	0,52	Argilosa	Argilosa
0,15-0,30	131,00	286,00	583,00	0,49	Argilosa	Argilosa
0,30-0,45	132,33	320,34	547,33	0,59	Argilosa	Argilosa
0,45-0,60	120,00	306,67	573,33	0,53	Argilosa	Argilosa
0,60-0,75	85,00	316,67	598,33	0,53	Muito Argilosa	Argilosa

A estabilidade dos agregados foi obtida por via úmida, tendo as amostras coletadas com o auxílio de enxadão e pá de corte, e analisadas pelo procedimento descrito por KEMPER & ROSENAU (1986), ou seja, 100g dos agregados selecionados foram pré-umedecidos por capilaridade, transferidos para um conjunto com peneiras de 2,00; 1,00; 0,50; e 0,25 mm de malha e submetidos a agitação vertical durante 15 min com rotação de 42 ciclos por minutos, imersos em recipiente com água (YODER, 1936). O solo retido em cada peneira foi acondicionado em recipientes, para secagem em estufa a 105°C, durante 24h. Em seguida pesou-se e calculou-se a massa e a porcentagem de agregados estáveis em cada uma das classes

de diâmetro de agregados. Os valores de diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) foram obtidos segundo KEMPER & ROSENAU (1986), e o índice de estabilidade de agregados (IEA) de acordo com CASTRO FILHO et al. (1998), através das expressões:

$$DMP = \sum(x_i w_i) \quad (1)$$

em que: DMP = diâmetro médio ponderado (mm);  $x_i$  = diâmetro médio entre classes (mm); e  $w_i$  = fração em peso da classe em relação ao peso da amostra total.

$$DMG = \text{EXP} \sum(w_p \log x_i/w_i) \quad (2)$$

em que: DMG = diâmetro médio geométrico (mm);  $w_p$  = peso dos agregados de cada classe (g).

$$IEA = (\text{Peso da amostra} - w_{p250\text{-areia}}) / (\text{peso da amostra} - \text{areia}) \cdot 100 \quad (3)$$

em que: IEA = índice de estabilidade de agregados;  $w_{p250}$  = peso dos agregados da classe <0,25 mm.

A porosidade total foi determinada através da saturação completa das amostras indeformadas. Estas foram pesadas e levadas à estufa a 105 °C, por 24 horas e em seguida, pesadas novamente, assim, por diferença de massa do solo saturado pelo solo seco em estufa, obtém-se a massa de água referente ao volume total de poros do solo ou a porcentagem de saturação de água convertida em volume.

A densidade aparente foi obtida, também, por meio de amostras de solo com estrutura indeformada através de um anel de aço (Koppeck) de bordas cortantes e volume interno de 69,24 cm<sup>3</sup>. As amostras foram retiradas e secas a temperatura de 105°C, até obtenção de massa constante (24 horas). Em seguida, pesadas para a obtenção dos valores de densidade do solo.

Já a densidade de partículas foi determinada através da expressão (Embrapa, 2011):

$$D_p = D_a / (1 - P_t) \quad (4)$$

em que  $D_p$  = densidade de partículas (Mg.m<sup>-3</sup>);  $D_a$  = densidade aparente (Mg.m<sup>-3</sup>);  $P_t$  = porosidade total (m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância após verificado os critérios de normalidade e homogeneidade das variâncias dos erros experimentais, através dos testes de assimetria e curtose, e Cochran, respectivamente, permitindo, assim, que as médias fossem comparadas pelo teste de Tukey ao nível 5% de probabilidade. Todos os dados obtidos foram comparados com valores de referências obtidos de acordo com a Tabela 3.

**Tabela 3.** Limites de confiança, inferior e superior, da média ao nível de significância de 95% de probabilidade para porosidade total, densidade aparente, densidade de partículas e grau de flocculação da argila, diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e índice de estabilidade de agregados.

Solo	Limite de confiança inferior da média	Limite de confiança superior da média	Coefficiente de variação	Repetições
	95% de probabilidade	95% de probabilidade	%	
Porosidade total (m <sup>-3</sup> .m <sup>-3</sup> )				
LA	0,13	0,17	19,00	15
LVA	0,31	0,33	8,12	24
LV	0,36	0,38	10,24	30
Densidade aparente (Mg.m <sup>-3</sup> )				
LA	2,31	2,51	7,16	15
LVA	1,42	1,50	7,81	30
LV	1,36	1,46	9,62	30
Densidade de partículas (Mg.m <sup>-3</sup> )				
LA	2,76	2,91	4,59	15
LVA	2,11	2,19	4,04	18
LV	2,19	2,29	6,54	30
Diâmetro médio ponderado (mm)				
LA	1,22	1,88	37,09	15
LVA	2,82	2,85	0,20	4
LV	2,76	2,87	3,18	15
Diâmetro médio geométrico (mm)				
LA	1,07	1,50	28,84	15
LVA	2,56	2,61	0,43	4
LV	2,51	2,69	6,17	15
Índice de estabilidade de agregados (%)				
LAm	73,94	84,91	10,41	12
LVA	94,77	95,36	0,27	6
LV	94,89	96,89	1,83	15

LA: LATOSSOLO AMARELO; LVA: LATOSSOLO VERMELHO AMARELO; LV: LATOSSOLO VERMELHO.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados apresentados na tabela 4 demonstram que para o LATOSSOLO AMARELO – pivô houve uma menor porosidade total nas camadas subsuperficiais de 0,15 a 0,45 m, bem como maior densidade aparente para as mesmas camadas, evidenciando uma compactação subsuperficial, provavelmente, causado pelo uso de máquinas e/ou implementos, sendo mais intensa na camada 0,15 a 0,30 m, evidenciada pela maior densidade de partículas da mesma. Contudo, a camada superficial (0,00 – 0,15 m) apresenta médias iguais, em profundidade, para todos os indicadores de qualidade do solo criticados anteriormente para o LATOSSOLO AMARELO – pivô, neste caso, a superfície vegetal, gerada pela palhada de milho, pode exercer influência nas médias. CASTRO et al. (1987) comprovaram que a cobertura vegetal do solo

reduz o efeito da desagregação do solo, evitando o selamento superficial provocado pela obstrução dos poros por partículas finas desagregadas.

**Tabela 4.** Porosidade total, densidade aparente, densidade de partículas em LATOSSOLOS sob diferentes tratamentos e camadas.

Camadas (m)	Porosidade total (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )			Densidade aparente (Mg.m <sup>-3</sup> )			Densidade de partículas (Mg.m <sup>-3</sup> )		
	Mata	Pivô	CV (%)	Mata	Pivô	CV (%)	Mata	Pivô	CV (%)
LATOSSOLO AMARELO									
0,00-0,15	0,17aA	0,13abA	26,31	2,33aA	2,55abA	12,24	2,81aA	2,93abA	8,14
0,15-0,30	0,14aA	0,11bA	12,22	2,37aA	2,69aA	5,68	2,77aA	3,02aA	4,31
0,30-0,45	0,14aA	0,11bA	7,22	2,48aA	2,60aA	4,03	2,88aA	2,92abA	6,23
0,45-0,60	0,14aA	0,14aA	9,88	2,51aA	2,36bA	5,66	2,91aA	2,74bA	4,31
0,60-0,75	0,15aA	0,15aA	6,67	2,37aA	2,45bA	35,91	2,80aA	2,88abA	4,26
CV (%)	16,41	11,46	-	6,64	4,75	-	4,19	3,78	-
LATOSSOLO VERMELHO AMARELO									
0,00-0,15	0,36aA	0,32aA	5,29	1,42aB	1,64aA	3,54	2,19aB	2,41aA	1,45
0,15-0,30	0,32abA	0,31aA	7,14	1,50aB	1,62aA	5,16	2,21aB	2,35abA	2,03
0,30-0,45	0,33abA	0,32aA	4,43	1,47aA	1,58aA	4,79	2,20aA	2,32abA	6,57
0,45-0,60	0,33abA	0,32aA	6,29	1,44aA	1,58aA	7,35	2,13aA	2,32abA	4,6
0,60-0,75	0,31bA	0,33aA	2,75	1,43aA	1,43aA	5,1	2,08aA	2,13bA	3,93
CV (%)	7,61	5,81	-	6,78	5,65	-	3,76	3,05	-
LATOSSOLO VERMELHO									
0,00-0,15	0,40aA	0,41aA	5,84	1,34aA	1,27bA	7,77	2,21aA	2,13bA	4,32
0,15-0,30	0,36aA	0,36bA	7,41	1,42aA	1,51aA	10,02	2,22aA	2,35aA	8,81
0,30-0,45	0,38aA	0,36bA	6,52	1,39aA	1,43abA	8,96	2,25aA	2,22abA	6,06
0,45-0,60	0,37aA	0,35bA	8,06	1,44aA	1,46aA	9,92	2,27aA	2,23abA	5,61
0,60-0,75	0,35aA	0,36bA	9,98	1,46aA	1,46aA	8,29	2,23aA	2,25abA	4,64
CV (%)	10,65	5,47	-	10,83	7,08	-	7,34	4,67	-

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV: Coeficiente de Variação.

ARATANI et al. (2009) afirma que a porosidade é fortemente influenciada pela textura e pelo teor de matéria orgânica, sendo assim, como não houve grande variação na textura do LATOSSOLO VERMELHO AMARELO - mata, a diferença da porosidade total e densidade de partículas, na camada superficial em relação a camada mais profunda, possivelmente foi dada por um maior teor de matéria orgânica na superfície do solo, observada visualmente. Ao comparar os tratamentos LATOSSOLO VERMELHO AMARELO – mata e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO – pivô, nota-se maiores valores de densidade aparente e densidade de partículas, nas camadas superficiais (0,00-0,30 m) para o segundo, evidenciando uma compactação superficial causada pelo tráfego de máquinas e implementos (REICHERT et al., 2007).

O tratamento LATOSSOLO VERMELHO – pivô em comparação de profundidade apresentou média maior na camada superficial (0,00-0,15 m), em relação às demais, para

porosidade total, bem como média menor, na mesma camada, para densidade aparente, em relação à camada de 0,15-0,30 m, exceto a camada de 0,30-0,40 m de profundidade. Já a densidade de partículas obteve menor média da camada superficial em relação a camada subsuperficial de 0,15-0,30 m. Sendo assim, é possível afirmar que LATOSSOLO VERMELHO – pivô sofreu uma desestruturação na camada superficial (0,00-0,15 m), devido o a pulverização do solo com o uso de enxada rotativa (CARVALHO FILHO et al., 2007).

Os índices de referência apresentados na tabela 3 estabelecem valores, em intervalos determinados, compatíveis com as médias apresentadas nas variáveis porosidade total e densidade aparente dos tratamentos com mata nativa, apresentados na tabela 4, além do que, as médias que indicaram desagregação do solo, menores para porosidade total e maiores para densidade aparente no LATOSSOLO AMARELO – pivô, apresentaram valores fora do intervalo estabelecido pelo índice de referência equivalente, bem como, para LATOSSOLO VERMELHO AMARELO – pivô e LATOSSOLO VERMELHO – pivô.

É possível observar, ao compararmos os tratamentos mata e pivô do LATOSSOLO AMARELO (Tabela 5), que há maior diâmetro médio ponderado e geométrico nas camadas superficiais da mata (0,00-0,30 m), assim como maior índice de estabilidade de agregados na camada subsuperficial de 0,15 a 0,30, evidenciando maior estruturação da mata em relação ao pivô, além do que o LATOSSOLO AMARELO – pivô possui, em todas as camadas avaliadas, menores médias em relação o tratamento mais profundo (0,60 – 0,75 m).

A influência positiva da argila na agregação do solo é conhecida e estudada na literatura (CASTRO FILHO et al., 1998; RIBON & TAVARES FILHO, 2008), ao observar o índice de estabilidade de agregados do LATOSSOLO AMARELO – mata, a camada subsuperficial de 0,15 a 0,30 m apresentou médias maiores em relação a camada mais profunda (0,60 – 0,75 m), fato ocasionado pela maior quantidade de argila apresentado, matematicamente, no Quadro 1.

O LATOSSOLO VERMELHO AMARELO - mata apresentou valores, para todas as variáveis da Tabela 5, na camada de 0,15 a 0,30 m, maiores em relação as demais camadas avaliadas, da mesma forma que, contrariando a observação de WENDLING et al., (2005), que evidenciou maiores valores de diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e índice de estabilidade de agregados, na camada superficial do solo.

Vale ressaltar que o diâmetro médio ponderado será maior quanto for a proporção da classe de agregados de maior tamanho, ao passo que o diâmetro médio geométrico representa apenas uma estimativa das classes de maior ocorrência.

**Tabela 5.** Diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e índice de estabilidade de agregados em LATOSSOLOS sob diferentes tratamentos e camadas.

Camadas (m)	Diâmetro médio ponderado (mm)			Diâmetro médio geométrico (mm)			Índice de estabilidade de agregados (%)		
	Mata	Pivô	CV (%)	Mata	Pivô	CV (%)	Mata	Pivô	CV (%)
<b>LATOSSOLO AMARELO</b>									
0,00-0,15	2,02 aA	1,14bB	1,81	1,49aA	0,94bB	10,48	83,33abA	74,57cA	7,2
0,15-0,30	1,92 aA	1,13bB	12,71	1,55aA	0,95bB	6,56	91,45aA	75,67bB	1,86
0,30-0,45	1,79 aA	0,84cA	39,62	1,41aA	0,76dA	29,28	83,15abA	75,49bcA	7,01
0,45-0,60	1,13 aA	0,80cA	28,2	1,16aA	0,81cA	29,14	80,53abA	70,23dA	8,82
0,60-0,75	0,91 aA	1,32aA	10,93	0,82aB	1,01aA	5,15	70,68bA	77,68aA	2,71
CV (%)	26,55	1,91	-	21,48	1,08	-	6,83	0,45	-
<b>LATOSSOLO VERMELHO AMARELO</b>									
0,00-0,15	2,73dA	2,52cB	0,71	2,48cA	2,08cB	0,78	95,18bA	89,81cB	0,07
0,15-0,30	2,88aA	2,32dB	1,18	2,71aA	1,74dB	0,49	96,77aA	82,48dB	0,19
0,30-0,45	2,75cB	2,81aA	0,15	2,41dB	2,58aA	0,71	93,05dB	95,54aA	0,36
0,45-0,60	2,69eB	2,81aA	0,9	2,35eB	2,57aA	2,44	93,42cB	95,11aA	0,94
0,60-0,75	2,83bA	2,70bB	0,39	2,58bA	2,37bB	0,82	94,95bA	92,45bB	0,43
CV (%)	0,12	0,96	-	0,21	1,46	-	0,09	0,51	-
<b>LATOSSOLO VERMELHO</b>									
0,00-0,15	2,77aA	2,67dA	4,36	2,51aA	2,30cA	8,53	94,64aA	92,54cA	2,32
0,15-0,30	2,87aA	2,71cB	0,89	2,70aA	2,29cB	1,56	96,97aA	90,61dB	0,19
0,30-0,45	2,83aA	2,67dB	1,07	2,62aA	2,25dB	3,24	95,92aA	90,65dB	1,44
0,45-0,60	2,81aA	2,81bA	2,58	2,58aA	2,60bA	4,3	95,72aA	95,29bA	0,93
0,60-0,75	2,80aA	2,88aA	2,07	2,59aA	2,69aA	4,19	96,19aA	96,25aA	1,21
CV (%)	3,78	0,38	-	7,06	0,72	-	1,83	0,25	-

As médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV: Coeficiente de Variação.

Nota-se maiores médias de diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e índice de estabilidade de agregados na camada superficial (0,00-0,30 m) e na mais profunda (0,60-0,75 m), assim como menores na camada subsuperficial de 0,30-0,60 m para o LATOSSOLO VERMELHO AMARELO – mata em relação ao LATOSSOLO VERMELHO AMARELO - pivô, inusitadamente, evidenciando melhor estruturação na camada 0,30-0,60 m para o LATOSSOLO VERMELHO AMARELO - pivô, discordando de WENDLING et al., (2005), que evidenciou melhor estruturação na camada superficial do solo.

Para o LATOSSOLO VERMELHO – mata em relação ao LATOSSOLO VERMELHO – pivô nota-se maiores médias para todas as variáveis da Tabela 5, na camada de 0,15 – 0,45 m. Ao analisar-se o LATOSSOLO VERMELHO – pivô em profundidade é possível observar médias menores em todas as profundidades, em relação a camada mais profunda (0,60 – 0,75 m), tendo menores médias na 0,30-0,45 m. Sendo assim é possível concluir que o manejo intensivo adotado no LATOSSOLO VERMELHO – pivô desestruturou o mesmo até 0,45 m de profundidade. A maior média na camada superior (0,00-0,15 m) do LATOSSOLO VERMELHO – pivô, provavelmente, pode ter sido influenciada pela palhada de milho presente

no mesmo (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990; DA ROS et al., 1997; SILVA et al., 2000; BEUTLER et al., 2001; WENDLING et al., 2005.).

## CONCLUSÕES

- O LATOSSOLO AMARELO – pivô teve uma menor porosidade total nas camadas subsuperficiais de 0,15 a 0,45 m, bem como maior densidade aparente para as mesmas camadas;
- Para LATOSSOLO VERMELHO AMARELO - mata, a diferença da porosidade total e densidade de partículas, na camada superficial em relação a camada mais profunda;
- Para LATOSSOLO VERMELHO AMARELO – mata e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO – pivô, nota-se maiores valores de densidade aparente e densidade de partículas, nas camadas superficiais (0,00-0,30 m) para o segundo;
- LATOSSOLO VERMELHO – pivô em comparação de profundidade apresentou média maior na camada superficial (0,00-0,15 m), em relação às demais, para porosidade total, bem como média menor, na mesma camada, para densidade aparente, em relação à camada de 0,15-0,30 m. Exceto a camada de 0,30-0,40 m de profundidade. Já a densidade de partículas obteve menor média da camada superficial em relação a camada subsuperficial de 0,15-0,30 m;
- Os índices de referência estabelecem valores, em intervalos determinados, compatíveis com as médias apresentadas nas variáveis porosidade total e densidade aparente dos tratamentos com mata nativa.

## REFERÊNCIAS

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um latossolo vermelho acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.677-687, 2009.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.31, n.1, p.1099-1108, 2007.

ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. **Agricultural Ecosystems and Environment**, v.88, n.2, p.153- 160, 2002.

BEUTLER, A.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob diferentes sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.25, p.167-177, 2001.

CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v14, p.99- 105, 1990.

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

CARVALHO FILHO, A.; SILVA, R.P.; CENTURION, J.F.; CARVALHO, L. C.C.; LOPES, A. Agregação de um Latossolo Vermelho submetido a cinco sistemas de preparo do solo em Uberaba, MG. **Engenharia Agrícola**. v.27, p.317-325, 2007.

CASTRO, O.M.; VIEIRA, S.R.; MARIA, I.C. Sistemas de preparo do solo e disponibilidade de água. In: Simpósio sobre manejo de água na agricultura. 1987. Campinas. Anais. Campina, **Fundação Cargill**, 1987. p.27-51.

CASTRO FILHO, C.; MUZZILI O.; PODANOSCHI, A. L. O teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico em função de sistemas de plantio, rotação de culturas e métodos de preparo de amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p. 527-538, 1998.

DA ROS, C.O.; SECCO, D.; FIORIN, J.E.; PETRERE, C.; CADORE, M.A. & PASA, L. Manejo do solo a partir de campo nativo: Efeito sobre a forma de estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p. 241-247, 1997.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W. et al. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.3-22.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.2, p.223-227, 2002.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of Soil Analysis**. Wisconsin: Soil Science Society of America, 1986. p.425-441.

MELLO, C.R.; GOMES, N.M.; SILVA, A.M. & JUNQUEIRA JUNIOR, J.A. Modelagem de atributos físico-hídricos do solo numa bacia hidrográfica da região do Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.845-852, 2007.

MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; VIEIRA, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.6, p.2461-2470, 2008.

NORTCLIFF, S. Standardization of soil quality attributes. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.88, n.2, p.161-168, 2002.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M., eds. **Tópicos em ciência do solo**. 5.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.49-134.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.D.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. Viçosa: NEPUT, 2007. 304p.

RIBON, A.A.; TAVARES FILHO, J. Estimativa da resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho sob cultura perene no norte do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1817-1825, 2008.

SILVA, M.L.N.; CURI, N. & BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.2485-2492, 2000.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um latossolo vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.487-494, 2005.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of American Society of Agronomy**, v. 28, p. 337- 351, 1936

## CONCLUSÃO GERAL

- A partir de 0,45 m de profundidade, entre os tratamentos sob pivô e mata, não há alterações na densidade aparente, densidade de partículas e porosidade total dos solos, podendo ser utilizada como referência de seu estado natural para estes atributos;
- Os limites de confiança obtidos podem ser utilizados como índices de referência para porosidade total e densidade de aparente atributos físicos do solo.

## REFERÊNCIAS

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*, v.31, p.1099-1108, 2007.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.2, p.223-227, 2002.

PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BEUTLER, S. J.; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, n.5, p.508-514, 2010.

SILVA, A.P.; IMHOFF, S.; KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. *Scientia Agricola*, v.61, n.4, p.451-456, 2004.

CASTRO NETO, P. Desenvolvimento e avaliação de equipamentos e metodologia para determinação de parâmetros físicos do solo relacionados a dias trabalháveis com máquinas agrícolas. Botucatu, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2001. 155 p. (Tese de Doutorado).

HÅKANSSON, I. & VOORHEES, W. B. Soil compaction. In: LAL, R.; BLUM, W. H.; VALENTINE, C. & STEWART, B. A., ed. *Methods for assessment of soil degradation*. Boca Raton: CRC Press, 1998. p. 167-179. (Advances in Soil Science).

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S. & HORN, R. Mecânica do solo. In: JONG VAN LIER, Q., ed. Física do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p.29-102.