

THAÍS NASCIMENTO PESSOA

**ALTERAÇÕES DE LONGO PRAZO EM PROPRIEDADES FÍSICAS DE
LATOSSOLOS OXÍDICOS COM CULTIVO INTENSIVO DE OLERÍCOLAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS- BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

P475a
2016

Pessoa, Thaís Nascimento, 1991-
Alterações de longo prazo em propriedades físicas de
latossolos oxídicos com cultivo intensivo de olerícolas / Thaís
Nascimento Pessoa. – Viçosa, MG, 2016.
43f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Teogenes Senna de Oliveira.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.35-43.

1. Latossolos - Rio Paranaíba (MG). 2. Estrutura do solo -
Rio Paranaíba (MG). I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Solos. Programa de Pós-graduação em Solos e
Nutrição de Plantas. II. Título.

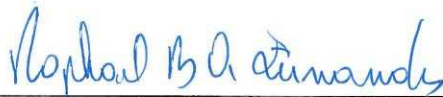
CDD 22. ed. 631.43

THAÍS NASCIMENTO PESSOA

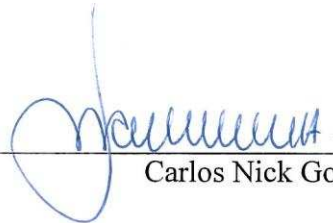
**ALTERAÇÕES DE LONGO PRAZO EM PROPRIEDADES FÍSICAS DE
LATOSSOLOS OXÍDICOS COM CULTIVO INTENSIVO DE OLERÍCOLAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

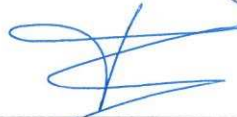
APROVADA: 15 de fevereiro de 2016.



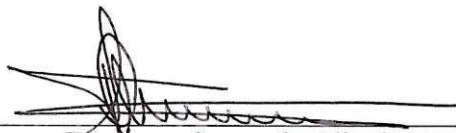
Raphael Bragança Alves Fernandes



Carlos Nick Gomes



Igor Rodrigues de Assis
(Coorientador)



Teogenes Senna de Oliveira
(Orientador)

Aos meus pais Marleide Pessoa e Carlos Pessoa da Silva

Às minhas irmãs Thainara Pessoa e Thaiane Pessoa

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde, força e por ser meu amparo nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais por todo amor, suporte e educação.

As minhas irmãs por todo carinho.

A Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Solos, e ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas pela oportunidade de realização do curso de Mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Teogenes Senna de Oliveira pela orientação e idealização deste trabalho.

Ao Professor Igor Rodrigues de Assis pela coorientação, sugestões e disponibilidade.

Ao professor Carlos Nick Gomes pela grande contribuição na parte estatística do trabalho.

A professora Luciana Gomes Castro que desde os tempos da graduação sempre me incentivou a seguir carreira na ciência do solo.

Aos colegas de pós-graduação, em especial Nathalie Sena e Luiz Aníbal pelos momentos de descontração, amizade e troca de conhecimentos.

Aos funcionários e professores do Departamento de Solos da UFV.

Aos técnicos do DPS, especialmente Claudio, Luis Fernando e Francisco, pelo suporte nas análises e amizade.

As companheiras de república que se tornaram grandes amigas, Josiane Batista, Maiara Cazotti, Thais Coelho e Juliana Paiva.

Aos amigos de Conquista, que mesmo longe sempre estiveram presentes em todos os momentos dessa trajetória, Mayara, André, Eloísa e Kamilla.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Obrigada.

BIOGRAFIA

THAÍS NASCIMENTO PESSOA, filha de Marleide Nascimento Pessoa e Raimundo Carlos Pessoa da Silva, nasceu em 02 de agosto de 1991, em Vitória da Conquista, estado da Bahia, Brasil.

Em 2008, concluiu o ensino médio no Colégio Modelo Luís Eduardo Magalhães, em Vitória da Conquista, BA.

Em 2009, iniciou o curso de graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Vitória da Conquista, BA. Onde foi bolsista de iniciação científica na área de física do solo, e monitora das disciplinas pedologia e física do solo, química do solo, e levantamento e classificação de solos, graduando-se em fevereiro de 2014.

Em março de 2014, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, da Universidade Federal de Viçosa, em nível de mestrado, atuando na linha de pesquisa: Alterações de Propriedades Edáficas em Diferentes Sistemas de Manejo, submetendo-se à defesa em fevereiro de 2016.

RESUMO

PESSOA, Thaís Nascimento, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2016. **Alterações de longo prazo em propriedades físicas de Latossolos oxidicos com cultivo intensivo de olerícolas.** Orientador: Teogenes Senna de Oliveira. Coorientador: Igor Rodrigues de Assis.

A estrutura do solo é propriedade que influencia diretamente o crescimento, o suprimento de água e a disponibilidade de nutrientes e oxigênio às plantas. O objetivo deste trabalho foi avaliar possíveis alterações estruturais causadas pelo sistema intensivo de cultivo de olerícolas em Latossolos Vermelho-Amarelo por longos períodos de uso. Amostras de solo deformadas, nas camadas de 0-30, 30-40 e 70-100 cm e indeformadas, nas camadas de 0-10, 10-30, 30-40, 40-70 e 70-100 cm de profundidade, foram coletadas em área de cerrado nativo e em três propriedades comerciais que cultivam olerícolas em diferentes tempos de implantação (15, 20 e 30 anos) na região de Rio Paranaíba, Minas Gerais. Nestas amostras avaliaram-se: carbono orgânico total, argila dispersa em água, grau de floculação, densidade do solo, grau de compactação, resistência do solo à penetração, porosidade, condutividade hidráulica em solo saturado, curva de retenção de água no solo e estabilidade de agregados via úmida e ultrassom. Os resultados demonstraram que o preparo intensivo e o longo tempo de uso do solo com cultivo de olerícolas promoveram alterações nas propriedades físicas dos Latossolos estudados. Constatou-se aumento da retenção de água no solo em todas as áreas cultivadas e o solo com maior tempo de uso (30 anos) mostrou-se o mais impactado, porém a estrutura fortemente desenvolvida e a elevada friabilidade minimizam os impactos do efeito do uso prolongado com agricultura altamente intensiva devido à grande capacidade de resistência/resiliência física que estes solos apresentam.

ABSTRACT

PESSOA, Thaís Nascimento, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2016. **Long-term changes in physical properties of Oxisols submitted to intensive cultivation with vegetable crops.** Advisor: Teogenes Senna de Oliveira. Co-advisor: Igor Rodrigues de Assis.

Soil structure is the property directly influences the growth, the water supply and the availability of nutrients and oxygen to the plants. Thus, the aim of this study was to evaluate possible structural changes caused by the conventional soil preparation system in Yellow-Red Oxisols cultivated with vegetable for different times. For this measurement, it was collected deformed samples soil from layers 0-30, 30-40 e 70-100 cm of depth from native cerrado areas. In addition, were collected undeformed soil samples from layers 0-10, 10-30, 30-40, 40-70 e 70-100 cm of depth from native cerrado and from three farmers as well. These farmers are located in Rio Paranaíba region, state of Minas Gerais, where were cultivated vegetable crops in succession with cereals over different times (15, 20 and 30 years). In these samples were evaluated: total organic carbon, clay disperse in water, degree of flocculation, soil density, compaction degree, soil resistance penetration, soil porosity, soil saturated hydraulic conductivity, retention curve of water in the soil and aggregate stability wet sieving and ultrasound routes. Our study demonstrated that conventional intensive soil preparation for long time with vegetable crops promoted changes on physical properties of Oxisols. It was detected the increasing of water retention for all of crop areas. The system with higher crop time with vegetable (thirty years) revealed more impacted in terms of soil physical qualities, however the strongly developed structure minimized the impacts of the prolonged use of these soils submitted to intensive agriculture because of their high capacity of physical resistance/resilience.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS	4
2.1. Localização, histórico de uso e amostragem.....	4
2.2. Análises físicas.....	7
2.3. Análise estatística.....	11
3. RESULTADOS.....	12
3.1. Caracterização dos solos estudados	12
3.2. Argila dispersa em água, grau de flocculação, densidade de partículas e carbono orgânico total.....	14
3.3. Densidade do solo, grau de compactação, resistência à penetração e condutividade hidráulica.....	15
3.4. Porosidade, retenção de água e índice S	17
3.5. Estabilidade de agregados	21
4. DISCUSSÃO	26
4.1. Similaridade pedogenética entre aos solos coletados.....	26
4.2. Argila dispersa em água, grau de flocculação, densidade de partículas e carbono orgânico total.....	26
4.3. Densidade do solo, grau de compactação, resistência à penetração, porosidade e condutividade hidráulica	28
4.4. Porosidade, retenção de água e índice S	30
4.5. Estabilidade de Agregados	32
5. CONCLUSÕES	34
6. REFERÊNCIAS.....	35

1. INTRODUÇÃO

Os Cerrados brasileiro, considerado o segundo maior bioma do país, ocupa uma área de 2 milhões de km², correspondendo a 25% do território nacional (Resende & Guimarães, 2007). No domínio dos Cerrados, as grandes chapadas e os trechos mais suaves são formados por Latossolos (Resende et al., 2014). Estes caracterizam-se como solos resultantes de energéticas transformações no material originário (Manzatto et al., 2002). Por situarem-se em topografia plana a suave ondulada, facilitando a mecanização, tornaram-se passíveis de utilização com diversas culturas. Além disso, são profundos, porosos, bem drenados, permeáveis mesmo quando muito argilosos, friáveis e de fácil preparo (Sousa & Lobato, 2014).

A fração argila destes solos é basicamente formada por caulinita, mineral silicatado, goethita e hematita, óxidos de ferro, e gibbsita, praticamente o único óxido de alumínio presente (Fontes et al., 2001). Dentre estes, os minerais que exercem maior influência sobre as propriedades físicas dos Latossolos da região sudeste do Brasil são caulinita e gibbsita (Ferreira et al., 1999a). De acordo com o modelo de estruturação dos Latossolos proposto por Ferreira et al. (1999b), a gibbsita influencia no desenvolvimento de macroestrutura do tipo granular, enquanto a caulinita no desenvolvimento de macroestrutura do tipo blocos. A mineralogia, associada à presença de moléculas orgânicas recalcitrantes confere aos Latossolos elevada estabilidade estrutural e friabilidade (Resende et al., 2007).

Devido ao alto rendimento operacional, a agricultura brasileira tem se tornado altamente dependente dos Latossolos. Atualmente, os Cerrados é uma das regiões de agricultura mais avançada no país, principalmente por causa do recobrimento dessa ordem (Severiano, 2010). Desde a acelerada expansão da agropecuária iniciada na década de 1970, época em que o desenvolvimento de novas tecnologias tornou os Cerrados aptos para o cultivo agrícola, este bioma vem sofrendo acelerado processo de degradação (Dos Santos, 2010).

Nessa região, é frequente a prática do uso excessivo de mecanização no preparo do solo, especialmente a grade aradora, o que contribui para a redução da estabilidade dos agregados causando sua destruição (Silva et al, 1998). Em conjunto são utilizados subsoladores e escarificadores, necessários para eliminar impedimentos físicos em subsuperfície (Freitas, 1992; Cunha 2001). Além do preparo, o uso de máquinas agrícolas durante todas as fases processo de produção, em condições inadequadas de

umidade, acarreta a degradação da estrutura, diminuindo o potencial produtivo do solo (Kamimura et al., 2012). Outro fator, é que o clima desta região, permite até duas safras anuais, sendo que os períodos para o manuseio das culturas tornaram-se cada vez mais reduzidos. Assim, ocorreram constantes aumentos no tamanho e na potência das máquinas que passaram a realizar operações em grande escala e com baixos custos operacionais, agravando os problemas físicos do solo (Severiano et al., 2011) e sua qualidade como um todo.

A qualidade do solo é definida como "a capacidade do solo de funcionar", dentro dos limites de ecossistemas naturais ou manejados, para sustentar a produtividade vegetal e animal, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água, e ser suporte para a vida saudável do homem". Esta definição, com base na sua função, reflete a vida e natureza dinâmica do solo (Karlen et al., 1997). Dentro desse conceito, a qualidade física torna-se relevante, pois seu estudo é realizado por meio de indicadores que avaliam a estrutura do solo, propriedade que influencia diretamente o crescimento, suprimento de água, nutrientes e oxigênio às plantas.

A degradação da estrutura afeta diretamente a qualidade física do solo (Dexter, 2004), com consequências relacionadas a alterações em propriedades como: estabilidade de agregados, retenção e infiltração de água, densidade e resistência do solo à penetração, geralmente promovidas pela compactação do solo, refletidas pelo aumento na densidade do solo e conseqüente modificações na distribuição de tamanho dos poros (Horn, 1995). A compactação do solo pode ser causada por forças externas, como o tráfego de máquinas e internas que correspondem aos ciclos de umedecimento e secagem e expansão e contração da massa de solo (Reichert et al., 2010).

A compactação dos solos agrícolas é causada, principalmente pela mecanização realizada com umidade do solo próxima ao limite de plasticidade, uma vez que água reduz a coesão e atua como lubrificante entre as partículas de solo, permitindo o deslizamento e o empacotamento das partículas quando submetido a algum tipo de pressão (Luciano et al., 2012). Solos argilosos, com maior capacidade de retenção de água carecem de maiores cuidados por apresentarem maior susceptibilidade à compactação adicional, quando cargas superiores às que o solo já sofreu são aplicadas. O tráfego de máquinas realizado em menores conteúdos de água no solo evitaria este efeito (Reichert et al. 2010).

Em sistemas de produção agrícola irrigados, os ciclos de umedecimento e secagem tornam-se mais amplos e efetivos, o que, segundo Pires (2006), podem

promover modificações com a expansão durante o umedecimento e reorientação de partículas com a secagem. De acordo com Curi et al. (1992), os ciclos alternados de umedecimento e secagem transformam a camada solta do solo onde foi realizada a semeadura em uma camada endurecida, com sérios reflexos no desenvolvimento radicular das culturas, na dinâmica da água do solo e, conseqüentemente, no processo erosivo, pois a redução na infiltração propiciará um maior escoamento superficial das águas de chuva.

Diante do exposto, este estudo baseia-se na hipótese de que o cultivo intensivo por longos períodos causam a degradação das propriedades físicas de Latossolos oxídicos, caracteristicamente de estrutura bastante estável. No presente estudo, pretende-se avaliar alterações estruturais causadas pelo uso intensivo com olerícolas em Latossolos Vermelho-Amarelo da região do Alto Paranaíba em Minas Gerais cultivados por longo período de tempo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização, histórico de uso e amostragem

As áreas de estudo estão localizadas no bioma Cerrados, nos municípios de Rio Paranaíba e Campos Altos, estado de Minas Gerais, pertencente à mesorregião do Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro, estando localizada entre as coordenadas geográficas: 19° 18,077' e 19° 29,407' S e 046° 08,779' e 046° 11, 569' O (Figura 1). O clima regional é classificado como Cwa (Köppen), descrito como subtropical de inverno seco com temperaturas inferiores a 18°C e, no verão, superiores a 22°C. A média pluviométrica anual é de aproximadamente 1700 mm, sendo que o período de estiagem ocorre entre os meses de junho e setembro e os meses de precipitação mais elevada entre dezembro e janeiro (INMET, 2015). A classe de solo dominante na região é o Latossolo Vermelho-Amarelo (Rolim Neto et al., 2009).

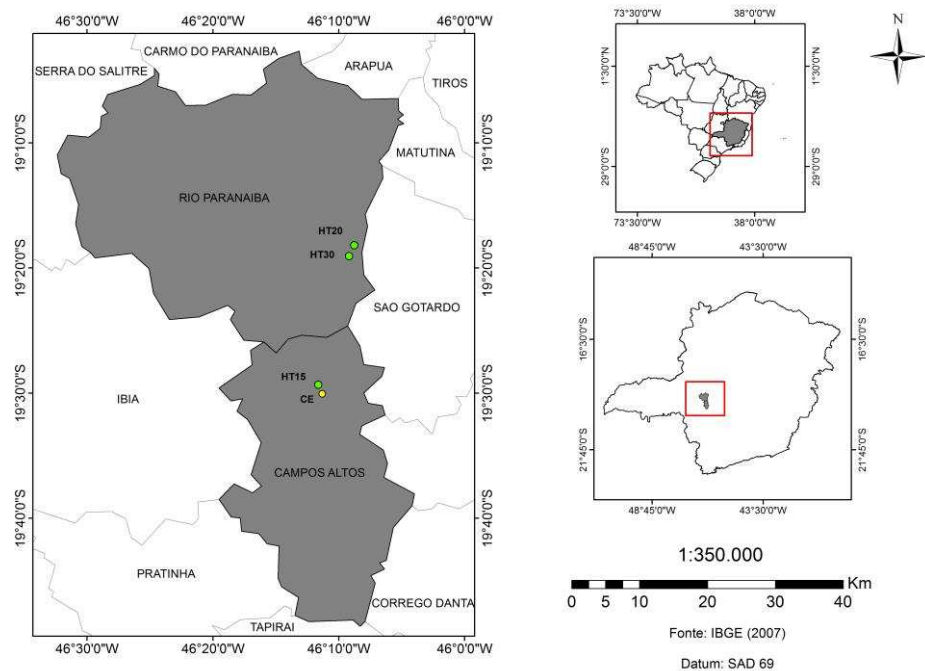


Figura 1. Localização das áreas de estudo de produção intensiva de olerícolas com 15 (HT₁₅), 20 (HT₂₀) e 30 (HT₃₀) anos e de vegetação de Cerrados (CE).

A seleção das áreas de estudo envolveu visitas a várias propriedades comerciais, procurando-se identificar as principais variações dos sistemas de manejo adotados nas áreas de produção de olerícolas da região, os quais se mostraram muito similares. Além de coletas em áreas de produção comercial, selecionou-se também área de vegetação de cerrados (CE), apresentando vegetação primária com pouca interferência antrópica. As

três áreas comerciais selecionadas produzem olerícolas por meio de irrigação via pivô central, utilizando preparo convencional intensivo com tempo de implantação de 15 (HT₁₅), 20 (HT₂₀) e 30 (HT₃₀) anos (Figura 1).

A ocupação agrícola da região começou a partir do Programa de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba (PADAP) no ano de 1973, tendo sido implantado em uma área de aproximadamente 600 km², entre os municípios de São Gotardo, Rio Paranaíba, Ibiá e Campos Altos (Santos et al., 2013). As áreas de cultivo caracterizam-se atualmente pelo uso intensivo de máquinas e implementos, fertilizantes orgânicos e químicos, além de compostos de controle fitossanitário.

No início, na década de 1970 eram cultivados principalmente, cereais, como soja, arroz, milho e feijão. A partir de 1980 passou a predominar a produção de olerícolas, como: alho, batata, cenoura, cebola e beterraba, opções de maior retorno econômico. Nos últimos cinco anos as propriedades passaram a adotar o cultivo de cereais (milho, milheto e soja) e o capim braquiária como culturas de sucessão. A sucessão é praticada com o objetivo de melhoria das condições de solo existente, principalmente quanto à redução de nematoides, patógenos comuns nas áreas irrigadas com produção de olerícolas, sendo esse, fator decisivo para a definição da substituição de hortaliças por uma das culturas de sucessão.

Em geral, as práticas agrícolas adotadas pelos agricultores são comuns entre propriedades, podendo ser descritas a partir da colheita de cereais/gramínea. Logo após o período de cultivo de algum cereal/gramínea é realizada uma gradagem pesada (discos de 32'') com corte a 25-35 cm de profundidade e calagem em aplicação única (3 a 6 ton ha⁻¹), realizada quando necessário para elevar a saturação por bases acima de 60%. Posteriormente à calagem é realizada a subsolagem (45-50 cm de profundidade), em dois sentidos perpendiculares uma ao outro (subsolagem cruzada). A enxada rotativa é utilizada na sequência para incorporação do adubo orgânico e realização da marcação de plantio. Este pode ser manual (alho e batata) ou mecanizado (cenoura, cebola, batata, beterraba e cereais). Imediatamente após o plantio, é feita a aplicação de herbicida pré-emergente Sencor (batata), Ronstar, Flumyzin ou Goal (alho), Afalon (cenoura) e Flumyzin (cebola) e as adubações.

As adubações variam com a cultura, produtor e necessidade do solo, em geral são aplicados, por ciclo de cultivo, o total de 160, 600 e 300 kg ha⁻¹ para a batata; 100, 700 e 500 kg ha⁻¹/160, 700 e 400 kg ha⁻¹ para a cenoura; 270, 900 e 450 kg ha⁻¹ para o alho de N, P e K, respectivamente. Essas quantidades são aplicadas em fundação e

cobertura. Comumente, aplica-se no plantio ou semeadura todo o P, 60 a 100 kg ha⁻¹ de N e 60 a 180 kg ha⁻¹ de K₂O. O restante do N e do K₂O são aplicados em cobertura, que podem consistir em duas a quatro aplicações. Na cultura do alho, são feitas seis ou mais aplicações de acordo com as doses recomendadas. A aplicação por cobertura pode ser realizada via irrigação (foliar e em torno de seis vezes por cultivo com micronutrientes ou biofertilizantes líquidos) ou a lanço (KCl e Uréia).

Adubações de cobertura e pulverizações são feitas em épocas definidas conforme a necessidade de controle, sendo avaliadas tecnicamente. Algumas práticas culturais específicas de cada cultura são também realizadas, como o corte das hastes florais do alho e cebola, geralmente, feitas manualmente. A colheita pode ser totalmente manual, parcialmente mecanizada (equipamento para afofar o solo a 25-30 cm de profundidade, como por exemplo, em cenoura, e restante colheita manual) ou totalmente mecanizada, podendo ocorrer à entrada de carretas ou mesmo caminhões nas áreas de cultivo. Em alguns casos, a formação de leiras/camalhão acontece para facilitar a colheita, utilizando-se equipamento apropriado.

As práticas de cultivo de cereais ou mesmo de braquiária são diferentes das hortaliças, podendo ser convencional ou em plantio direto na palha ou nos restos culturais do cultivo anterior. No plantio direto, usa-se plantadeira adaptada, enquanto no convencional faz-se a gradagem pesada, seguida da subsolagem cruzada, porém mais superficial (em torno de 35 cm), e gradagem de nivelamento, sendo o plantio mecanizado. Para os cereais a adubação é feita no sulco e para o capim braquiária a lanço. Pulverizações diversas, assim como a adubação de cobertura, também são realizadas mecanicamente, podendo ser aérea ou via pivô (N e K). Geralmente, os cereais e o braquiária são totalmente incorporados, não sendo feita qualquer tipo de colheita na área.

Em cada área selecionada delimitou-se cinco subáreas (repetições) e, em cada uma dessas subáreas, cinco amostras deformadas simples foram coletadas nas camadas de 0-30; 30-40 e 70-100 cm. Essas amostras simples, coletadas em cada subárea, foram homogêneas e compuseram uma amostra composta por camada. Nas mesmas áreas e subáreas descritas também foram coletadas amostras indeformadas no centro das camadas de: 0-10; 10-30; 30-40; 40-70 e 70-100 cm utilizando-se anéis volumétricos (5 cm de diâmetro e 5 cm de comprimento) com amostrador tipo Uhland, consistindo em uma amostra por camada.

As profundidades de coleta foram determinadas previamente a partir das trincheiras abertas e pela avaliação morfoedológica, considerando a distinção de camadas que refletissem a homogeneidade ou não do uso, ou seja, considerou-se cor, textura, estrutura, resistência à penetração e a existência de provável camada compactada.

Na época da amostragem estavam implantados nas áreas de produção de olerícolas, culturas de sucessão. Na área com 15 anos de uso, estava implantado o milho, na área com 20 anos de uso, a soja e na área com 30 anos de uso, o milho.

2.2. Análises físicas

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 2012). Pré-tratamento foi realizado para remoção de óxidos de ferro e alumínio mal cristalizados, utilizando HCl 0,01 mol L⁻¹ objetivando uma melhor dispersão com a eliminação de pseudoareia e pseudosilte, detectada preliminarmente (Barreto, 1986). Após o pré-tratamento, as amostras foram secas a 45° C em estufa de ventilação forçada e submetidas à dispersão química com NaOH 0,1 mol L⁻¹ e física por meio de agitação lenta a 50 rpm durante 16 h. As frações areia grossa e fina foram obtidas por tamisamento, e as frações silte e argila foram coletadas em suspensão. A argila dispersa em água (ADA) foi determinada de acordo com a metodologia da análise granulométrica, porém sem o uso do dispersante químico e sem a utilização de pré-tratamento. A densidade de partículas do solo foi determinada pelo método do balão volumétrico utilizando álcool etílico (EMBRAPA, 2011). O grau de floculação (GF) foi obtido pela equação: $GF = (Argila - ADA) / (Argila) \times 100$, em que Argila é o teor de argila total em %; ADA é a argila dispersa em água em %.

Para a obtenção da curva de retenção de água (CRA), amostras indeformadas foram saturadas durante um período de 48 h e, em mesa de tensão, foi obtida a umidade nos potenciais mátricos de -2, -4, -6, -8 e -10 kPa. Para os potenciais de -20, -30, -50, -100, -200, -500 e -1500 kPa, a umidade foi obtida em extrator de Richards (Klute, 1986). Posteriormente os resultados foram ajustados por meio da equação de van Genuchten (1980), com auxílio do software SWRC (Dourado Neto et al., 1990), utilizando-se a equação: $\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha |\psi_m|)^n]^m$, em que θ é a umidade, em m³ m⁻³; θ_r é a umidade residual, em m³ m⁻³; θ_s é a umidade de saturação, em m³ m⁻³; Ψ_m é o

potencial mátrico, em kPa; e α , m e n são parâmetros empíricos. A umidade de saturação (θ_s) e residual (θ_r) foram fixadas nos valores correspondentes a porosidade total e ao ponto de murcha permanente, respectivamente. A partir dos parâmetros empíricos estimados para a curva de retenção de água, calculou-se o índice S conforme Dexter (2004), utilizando a equação: $S = -n(\theta_s - \theta_r) \left[1 + (1/m)\right]^{1+m}$.

A microporosidade foi considerada como a água retida no potencial mátrico de -6 kPa. A porosidade total foi calculada de acordo com a equação: $PT = 1 (D_s/D_p)$. Onde: D_s e D_p correspondem a: densidade do solo e densidade de partículas, ambas em kg dm^{-3} . A macroporosidade foi considerada a diferença entre a porosidade total e a microporosidade, obtida pela equação $P_{MA} = (PT - P_{MI})$, ambas em ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$). Para cálculo de água disponível (AD), considerou-se como umidade equivalente à capacidade de campo (CC), a água retida no potencial de -10 kPa e o ponto de murcha permanente (PMP), a água retida no potencial de -1500 kPa. A água disponível foi obtida pela diferença entre a CC e o PMP.

A resistência do solo à penetração (RP) foi mensurada em laboratório por meio de um penetrômetro eletrônico Marconi, modelo MA-933, com velocidade de penetração de $1,0 \text{ cm min}^{-1}$. Os ensaios ocorreram com as amostras em umidade equivalente à capacidade de campo (-10 kPa). As leituras foram obtidas no centro geométrico de cada amostra até a profundidade de 4,0 cm. Na determinação da RP descartaram-se as médias obtidas da superfície até 1,0 cm de profundidade (Tormena et al., 1998).

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (Blake & Hartge, 1986), sendo calculada pela equação: $D_s = (M_s/V)$; onde, M_s é a massa de solo seco a 105° C , em kg kg^{-1} , e V é o volume do cilindro, em $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$.

A densidade do solo máxima ($D_{s_{\max}}$) foi determinada com amostras deformadas utilizando teste de compressão uniaxial. Anéis de aço inox foram preenchidos com TFSA, no anel, a amostra de solo foi apenas acomodada (sem ocorrência de compactação), estes foram saturados, e posteriormente levados para mesa de tensão, onde foi aplicado o potencial mátrico de -10 kPa por 24 horas. O ensaio foi realizado em um consolidômetro pneumático a uma pressão de 200 kPa (Håkansson, 1990) durante 10 minutos, tempo satisfatório para se atingir a máxima compactação (Silva et al., 2000a). Ao término do ensaio as amostras foram secas a 105° C para obtenção da massa do solo seco. A densidade do solo máxima ($D_{s_{\max}}$) foi considerada a densidade

após a compressão, sendo calculada de acordo com as leituras obtidas no aparelho. O grau de compactação do solo foi obtido pela equação: $GC = (D_s / D_{smax}) \times 100$, onde D_s é a densidade do solo e D_{smax} a densidade máxima a 200 kPa, ambas em $kg\ dm^{-3}$.

A condutividade hidráulica foi determinada utilizando permeâmetro de carga constante (Klute, 1965). A condutividade hidráulica em meio saturado na temperatura de trabalho (K_e) foi calculada pela expressão: $K_e = -(V / A_t) / (-l / L + 1)$, onde: V é o volume de água percolado, em mL; t é o tempo em s; A é a área transversal da coluna de solo, em cm^2 ; l é a lâmina de água mantida, em cm; L é a altura do anel volumétrico, em cm. O valor de K_e , determinado nas condições ambientais foi recalculado para a temperatura de referência de 20° C (K_0) por meio da expressão: $K_0 = K_e \cdot (\eta_e / \eta_{20})$, onde η_e e η_{20} são a viscosidade dinâmica da água na temperatura ambiente e a 20° C (0,01002 p), respectivamente.

A distribuição das classes de tamanho de agregados foi determinada por tamisamento via úmida, conforme Yoder (1936), modificado por Kemper e Chepil (1965) utilizando peneiras de 1,0; 0,5; 0,25 e 0,105 mm, correspondentes às classes: 2,0-1,0; 1,0-0,5; 0,5-0,25; 0,25-0,105 e <0,105 mm. Os agregados retidos em cada peneira foram secos a 105 °C, durante 48 h e o peso inicial da amostra foi corrigido de acordo com a respectiva umidade residual. A partir do conhecimento da proporção de agregados em cada uma das classes, calculou-se o diâmetro médio ponderado (DMP): $DMP = \sum_{i=1}^n (w_i x_i)$; o diâmetro médio geométrico (DMG): $DMG = 10^{\sum_{i=1}^n (w_i \log x_i)}$; e o índice de estabilidade de agregados (IEA): $IEA = ((PS - wp < 0,105 - areia) / (PS - areia)) \times 100$ onde x_i é o diâmetro médio das classes, em mm; w_i é fração em massa da classe em relação à massa da amostra total; P_s é a massa da amostra seca em g; $wp < 0,105$ é massa de agregados na classe <0,105 mm, em g; e areia é proporção de areia, em $kg\ kg^{-1}$.

A estabilidade de agregados também foi determinada com o uso de energia ultrassônica, sendo avaliada por meio de índices de dispersão (ID). Para a dispersão via ultrassom utilizou-se 5 g de terra fina seca ao ar (TFSA), para fins de cálculos, este peso inicial foi corrigido pela umidade residual. As amostras foram pré-umedecidas em becker de 250 mL e mantidas em repouso durante 1 h. Após este período, acrescentou-se 200 mL de água deionizada (relação solo:água; 1:40) (Sá et al., 2002). Na sequência, a sonicação foi realizada em aparelho de ultrassom com sonda operando a 20 kHz e

amplitude de 40%, fornecendo uma potência de 49,48 W, calculada a partir de técnicas caloríficas adaptadas por Schmidt et al. (1999).

As amostras foram submetidas à sonicação durante: 0, 5, 15, 30, 60, 120 e 240 segundos, correspondendo aos níveis de energia de: 0; 1,24; 3,71; 7,42; 14,8; 29,69; 44,53; 59,38 J mL⁻¹, calculadas segundo Christensen (1985), conforme a expressão $EA = (P_c \cdot t_s) / v$; onde EA é a energia aplicada à suspensão, em J mL⁻¹; P_c é a potência emitida pelo aparelho, em W; t_s é o tempo de sonicação em s; e v é o volume da suspensão, em mL. No tempo 0 (zero), as amostras não foram levadas para sonicação, consistindo o procedimento em apenas adicionar água deionizada e passar as amostras em peneira, para se conhecer a dispersão causada somente pelo manuseio da amostra (Sá et al., 2002).

A ponta da haste do sonicador, com 127 mm de comprimento e 19 mm de diâmetro, foi introduzida na suspensão a uma profundidade de 45 mm. Como a eficiência da dispersão decresce com o aumento da temperatura da suspensão solo-água, diminuindo a cavitação (Raine & So, 1994; Sá et al., 2005), a temperatura foi mantida abaixo de 40 ° C utilizando-se banho de gelo durante a sonicação (Christensen, 1985; Gregorich et al., 1989).

Após sonicação, as amostras foram passadas em peneira com malha equivalente a 53 µm, onde o material retido foi levado para a estufa a 105° C por 24 horas. Os teores de silte + argila (sólidos que passaram pela peneira) foram obtidos por diferença, por meio da expressão: silte + argila = amostra original (5 g) – resíduo. Este procedimento possibilitou, para cada nível de energia específica aplicado, o cálculo do índice de dispersão pela expressão: $ID = [(silte + argila) / (massa\ inicial\ de\ agregados\ secos)]$ (Sá et al., 1999).

Para quantificação da argila dispersa via ultrassom, após o procedimento de sonicação e separação da fração maior que 53 µm para determinação do ID, armazenou-se o conteúdo equivalente a fração menor que 53 µm em provetas de 500 mL. Nas provetas, o volume foi completado com água deionizada, e utilizando a lei de Stokes, calculou-se o tempo de sedimentação para a fração silte. Passado o tempo de sedimentação, subamostras de 10 mL foram coletadas a 5 cm da suspensão para quantificação da fração argila.

2.3. Análise estatística

O delineamento considerado foi inteiramente casualizado (DIC) em esquema de parcelas subdivididas, sendo que os usos com diferentes tempos (HT₁₅, HT₂₀ e HT₃₀) anos e vegetação de Cerrados (CE) constituíram nas parcelas, enquanto as camadas coletadas foram as subparcelas. Para as amostras deformadas delimitaram-se três subparcelas, correspondentes às camadas 0-30, 30-40 e 70-100 cm. Para as amostras indeformadas delimitaram-se cinco subparcelas, correspondentes às camadas 0-10, 10-30, 30-40, 40-70 e 70-100 cm. Em todas situações foram coletadas cinco repetições. Os dados foram analisados estatisticamente por análise de variância (ANOVA) e as comparações de médias realizadas pelo teste Tukey utilizando-se até 5% de significância.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterização dos solos estudados

Os solos das áreas coletadas apresentam elevados teores de argila ($\geq 600 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 3), e homogeneidade quanto à composição granulométrica, com pouca diferenciação entre horizontes. Estes, naturalmente são solos que possuem elevada acidez ativa, trocável e potencial, assim como teores de fósforo disponível muito baixo (Tabela 1). Na fração argila observam-se picos expressivos de caulinita (argilomineral 1:1) e gibbsita (óxido de alumínio) em relação aos picos de hematita e goethita (óxidos de ferro) nos difratogramas de todas as áreas (Figura 2). Os resultados do ataque sulfúrico (Tabela 2) indicam para estes solos baixos valores de K_i ($\leq 0,3$).

Tabela 1. Propriedades químicas de Latossolos Vermelho-Amarelo em produção intensiva de olerícolas a 15 (HT₁₅), 20 (HT₂₀) e 30 (HT₃₀) anos e de vegetação de Cerrados (CE), em diferentes camadas¹

Áreas	pH em H ₂ O (1:2,5)	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	P-rem	COT
		-----mg dm ⁻³ -----	-----mg dm ⁻³ -----	-----cmol _c dm ⁻³ -----	-----cmol _c dm ⁻³ -----	-----cmol _c dm ⁻³ -----	-----cmol _c dm ⁻³ -----	mg L ⁻¹	dag kg ⁻¹
0-30 cm									
CE	4,97	0,91	38,80	0,57	0,17	0,61	9,43	11,68	3,90
HT ₁₅	6,86	36,44	152,40	4,00	0,78	0,00	4,78	14,64	2,89
HT ₂₀	6,89	103,46	133,40	5,67	1,25	0,00	2,24	11,4	3,08
HT ₃₀	6,22	46,22	135,60	3,96	0,79	0,00	4,08	13,74	2,45
30-40 cm									
CE	4,96	0,42	18,10	0,21	0,07	0,26	7,17	5,36	2,71
HT ₁₅	7,08	9,38	42,20	3,29	0,56	0,00	4,00	7,94	2,34
HT ₂₀	6,85	21,38	62,00	4,64	0,91	0,00	1,96	8,22	2,48
HT ₃₀	5,92	1,10	108,80	2,06	0,38	0,00	2,98	5,58	1,73
70-100 cm									
CE	5,33	0,16	5,50	0,10	0,03	0,00	4,38	2,67	1,66
HT ₁₅	5,76	0,66	11,80	1,14	0,15	0,00	3,66	2,72	1,38
HT ₂₀	6,41	1,90	25,20	2,25	0,47	0,00	1,94	2,12	1,52
HT ₃₀	5,99	0,36	18,20	1,32	0,22	0,00	2,46	2,02	1,23

¹pH: 1:2,5; H+Al: Extrator com Ca(OAc)₂ 0,5 mol L⁻¹ pH 7,0; Ca, Mg e Al Extrator KCl 1 mol L⁻¹; K e P Extrator Mehlich⁻¹(Defelipo & Ribeiro, 1981); Prem (Alvarez V. et al., 2000). Métodos de acordo com EMBRAPA (2011).

Tabela 2. Óxidos extraídos pelo ataque sulfúrico, relações Ki e Kr e Fe e Al extraídos pelo ditionito-citrato-bicarbonato (DCB) e oxalato-de-amônio (OAA) de amostras da camada 70-100 cm (horizonte Bw) de Latossolo Vermelho-Amarelo em produção intensiva de olerícolas a 15 (HT₁₅), 20 (HT₂₀) e 30 (HT₃₀) anos e em vegetação de Cerrados (CE)¹

Áreas	Ataque sulfúrico (H ₂ SO ₄)						Ki	Kr	DCB		OAA	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O			Fe _a	Fe _o	Al _d	Al _o
	dag kg ⁻¹								dag kg ⁻¹			
CE	5,95	39,10	15,47	1,76	0,15	1,22	0,26	0,21	0,24	0,11	0,89	0,56
HT ₁₅	4,59	36,93	14,23	1,91	0,15	1,23	0,21	0,21	0,24	0,10	0,89	0,56
HT ₂₀	6,38	39,47	15,55	2,08	0,18	1,15	0,27	0,24	0,24	0,08	0,72	0,49
HT ₃₀	6,86	37,74	15,68	2,10	0,37	1,25	0,31	0,24	0,20	0,07	0,67	0,49

¹Ataque Sulfúrico: EMBRAPA, 2011; ditionito-citrato-bicarbonato: (Mehra & Jackson, 1960); oxalato de amônio: (McKeague & Day, 1966).

Tabela 3. Frações granulométricas de Latossolos Vermelho-Amarelo em produção intensiva de olerícolas a 15 (HT₁₅), 20 (HT₂₀) e 30 (HT₃₀) anos e de vegetação de Cerrados (CE), em diferentes camadas

Áreas	Argila	Silte	Areia Fina	Areia Grossa
	-----g kg ⁻¹ -----			
	0-30 cm			
CE	801,56	85,12	58,82	54,50
HT ₁₅	755,92	122,19	59,64	62,25
HT ₂₀	649,94	225,00	69,08	55,99
HT ₃₀	758,36	146,98	52,49	42,16
	30-40 cm			
CE	844,46	75,98	40,68	38,88
HT ₁₅	808,39	94,24	49,84	47,54
HT ₂₀	714,51	163,27	66,09	56,12
HT ₃₀	848,75	80,23	41,15	29,88
	70-100 cm			
CE	848,19	88,12	34,59	29,10
HT ₁₅	858,97	77,98	34,66	28,38
HT ₂₀	844,80	90,36	40,19	24,65
HT ₃₀	876,36	68,20	34,58	20,86

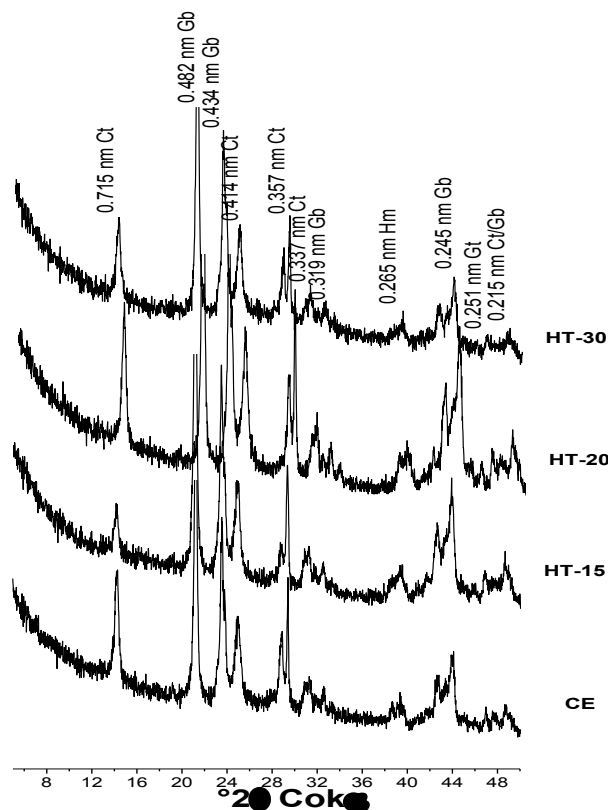


Figura 2. Difratomogramas de raios-X da fração argila natural de Latossolos Vermelho-Amarelo em produção intensiva de olerícolas a 15 (HT₁₅), 20 (HT₂₀) e 30 (HT₃₀) anos e em vegetação de Cerrados (CE). Ct: caulinita; Gb: gibbsita; Hm: hematita; Gt: goethita¹.

¹remoção de matéria orgânica (Anderson, 1963); separação das frações granulométricas (Jackson, 1979).

3.2. Argila dispersa em água, grau de flocculação, densidade de partículas e carbono orgânico total

Os teores de argila dispersa em água (ADA) diferiram-se significativamente entre as áreas nas camadas de 30-40 e 70-100 cm, onde o HT₃₀ apresentou os maiores valores de ADA na camada de 30-40 cm, seguido de HT₁₅, CE e HT₂₀. Na camada de 70-100 cm, CE e HT₂₀ apresentaram os maiores teores de ADA seguidos de HT₁₅ e HT₃₀. O GF aumentou na última camada, apresentando diferenças significativas entre áreas (Tabela 4).

Os valores de densidade de partículas (Dp) diferiram-se estatisticamente entre áreas apenas na primeira camada, o HT₂₀ apresentou os maiores valores, seguido de HT₁₅ e HT₃₀ que foram iguais estatisticamente e CE. O CE apresentou as menores médias de Dp (Tabela 4).

Os teores de carbono orgânico total (COT) foram significativos apenas na primeira camada, que também apresentou maiores teores em relação às demais (Tabela 4). O solo sob CE destacou-se apresentando as maiores proporções de COT quando comparado aos sistemas de cultivo, foi observada a seguinte tendência: CE>HT₂₀>HT₁₅>HT₃₀.

Tabela 4. Médias de argila dispersa em água (ADA), grau de flocação (GF), densidade de partículas (Dp) e carbono orgânico total (COT) de Latossolos Vermelho-Amarelo em produção intensiva de olerícolas a 15 (HT₁₅), 20 (HT₂₀) e 30 (HT₃₀) anos e de vegetação de Cerrados (CE), em diferentes camadas¹

Camada (cm)	Áreas			
	CE	HT ₁₅	HT ₂₀	HT ₃₀
	Argila dispersa em água (g kg⁻¹)			
0-30	109,45 Aa	120,24 Aa	92,12 Aa	140,77 Aa
30-40	129,38 ABa	162,79 ABa	119,90 Ba	175,67 Aa
70-100	99,29 Aa	18,85 Bb	89,77 Aa	3,91 Bb
	Grau de flocação (%)			
0-30	86,35 Aa	84,09 Ab	85,83 Aab	81,44 Ab
30-40	84,68 Aa	79,86 Ab	83,22 Ab	79,30 Ab
70-100	88,29 Ba	97,81 Aa	89,37 Aa	99,55 Aa
	Densidade de partículas (kg dm⁻³)			
0-30	2,54 Ba	2,60 BAa	2,64 Aa	2,59 BAa
30-40	2,52 Aa	2,60 Aa	2,62 Aa	2,58 Aa
70-100	2,55 Aa	2,58 Aa	2,61 Aa	2,54 Aa
	Carbono orgânico total¹ (%)			
0-30	3,90 Aa	2,89 ABa	3,08 ABa	2,45 Ba
30-40	2,71 Ab	2,34 Aab	2,48 Aab	1,73 Aab
70-100	1,66 Ab	1,38 Ab	1,52 Ab	1,23 Ab

¹COT determinado por combustão à seca CHNS/O (Gatto et al.,2009).

Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas na linha comparam tratamentos e minúsculas nas colunas, profundidades.

3.3. Densidade do solo, grau de compactação, resistência à penetração e condutividade hidráulica

A densidade do solo (Ds) apresentou os maiores valores ($p < 0,05$) nas áreas cultivadas, com comportamento geral: HT₃₀>HT₁₅>HT₂₀>CE, observando-se que os menores valores de Ds ocorreram na última camada (70-100 cm), enquanto as demais apresentaram-se maiores, em grande parte com diferenças significativas (Tabela 5).

Entre sistemas, as diferenças significativas ocorreram nas camadas: 10-30 cm e 70-100 cm, onde o HT₃₀ alcançou os maiores valores de Ds.

O grau de compactação (GC) também foi semelhante ao observado para Ds, destacando a não correspondência entre aumento do tempo de uso e aumento do GC, como é o caso dos maiores valores observados de HT₁₅ para HT₃₀. Observou-se para o grau de compactação (GC) interação significativa entre tratamentos, com exceção da última camada. O HT₁₅ se sobressaiu aos demais tratamentos, seguido do HT₃₀, HT₂₀ e CE.

A resistência à penetração (RP), assim como Ds e GC, apresentou os menores valores em CE, enquanto que os maiores ocorreram nas áreas cultivadas, com destaque expressivo para HT₃₀, seguido do HT₁₅, enquanto o HT₂₀ apresentou valores intermediários. A RP aumenta nas áreas cultivadas até a profundidade de 40-70 cm sendo menores abaixo dessa camada, o que de certa forma se repete nas variáveis já comentadas (Ds e GC). As diferenças entre os sistemas de olericultura e CE para a RP foram significativas apenas nas três primeiras camadas.

De forma semelhante, as áreas com cultivo de olerícolas apresentaram as menores médias de condutividade hidráulica saturada (K₀) em relação a CE na maior parte das profundidades avaliadas. As diferenças significativas foram observadas e apontam as camadas de 10-30, 30-40 e 70-100 cm das áreas HT₃₀ e HT₁₅ com os menores valores de K₀ encontrados.

Tabela 5. Médias de densidade do solo, grau de compactação, resistência à penetração, porosidade total e condutividade hidráulica de Latossolos Vermelho-Amarelo em produção intensiva de olerícolas a 15 (HT₁₅), 20 (HT₂₀) e 30 (HT₃₀) anos e em vegetação de Cerrados (CE), em diferentes camadas

Camadas (cm)	Áreas			
	CE	HT ₁₅	HT ₂₀	HT ₃₀
Densidade do solo (kg dm⁻³)				
0-10	0,77 Bb	1,06 Aa	1,04 Aa	1,10 Aab
10-30	0,85 Cab	1,08 BAa	1,03 Ba	1,17 Aa
30-40	0,88 Ba	1,12 Aa	1,08 Aa	1,12 Aab
40-70	0,85 Bab	1,04 Aa	0,99 Aa	1,03 Abc
70-100	0,84 Bab	0,86 BAb	0,85 Bb	0,95 Ac
Grau de compactação (%)				
0-10	72,53 Ba	93,20 Aa	85,67 Aa	92,74 Aba
10-30	80,02 Ba	94,32 Aa	84,66 Ba	98,44 Aa
30-40	79,24 Ba	94,76 Aa	91,55 Aa	90,08 Ab
40-70	77,36 Ba	87,24 Aa	83,73 Aa	84,44 ABb

70-100	74,03 Aa	72,29 Ab	72,77 Ab	74,80 Ac
Resistência à penetração (MPa)				
0-10	0,52 Ca	1,62 Bab	1,16 BCab	2,91 Aa
10-30	0,50 Ca	1,27 Bb	1,11 BCab	2,16 Ab
30-40	0,73 Ca	2,06 ABa	1,45 Ba	2,35 Aab
40-70	0,39 Aa	0,99 Abc	0,82 Aab	1,06 Ac
70-100	0,47 Aa	0,44 Ac	0,53 Ab	0,70 Ac
Condutividade hidráulica (mm h⁻¹)				
0-10	97,23 Aa	20,66 Bb	14,46 Bcd	2,61 Ba
10-30	82,59 Aab	25,12 Cb	47,11 Bb	21,54 Ca
30-40	63,54 Abc	4,56 Cb	28,28 Bbc	5,49 Ca
40-70	41,12 Ac	14,57 Bb	3,19 Bd	4,16 Ba
70-100	46,49 Bc	79,70 Aa	97,58 Aa	10,83 Ca

Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas na linha comparam tratamentos e minúsculas nas colunas, profundidades.

3.4. Porosidade, retenção de água e índice S

As variáveis porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma) e microporosidade (Mi) apresentaram, de modo geral, diferenças significativas entre tratamentos, exceção apenas para a Mi na última camada. A Pt e Ma foram inferiores e a Mi superior nos sistemas de olericultura em relação ao CE, principalmente até 40 cm de profundidade. Esse fato está associado às primeiras camadas sofrerem influência direta de implementos ou indireta pelo trânsito e pressão exercida sobre a superfície. A camada 30-40 cm apresentou grande redução da Ma em relação às demais, com destaque para os sistemas HT₃₀ e HT₁₅, seguido de HT₂₀, enquanto que na camada de 70-100 cm, as áreas de cultivo voltaram a apresentar o mesmo comportamento para a Ma observado em CE, ainda assim, o efeito do tempo de uso no sistema HT₃₀ promoveu a redução dos poros de tamanho maior e o aumento dos poros de menor tamanho na última camada, apresentando interação significativa (Tabela 6).

Tabela 6. Médias de porosidade total, macroporosidade e microporosidade de Latossolos Vermelho-Amarelo em produção intensiva de olerícolas a 15 (HT₁₅), 20 (HT₂₀) e 30 (HT₃₀) anos e em vegetação de Cerrados (CE), em diferentes camadas

Camadas (cm)	Áreas			
	CE	HT ₁₅	HT ₂₀	HT ₃₀
Porosidade total (m³ m⁻³)				
0-10	0,70 Aa	0,59 Bb	0,60 Bb	0,57 Bbc
10-30	0,66 Aab	0,59 Bb	0,61 Bb	0,55 Cc

30-40	0,65 Ab	0,57 Bb	0,59 Bb	0,56 Bbc
40-70	0,67 Aab	0,60 Bb	0,62 Bb	0,60 Bb
70-100	0,67 Aab	0,67 Aa	0,68 Aa	0,63 Ba

Macroporosidade (m³ m⁻³)

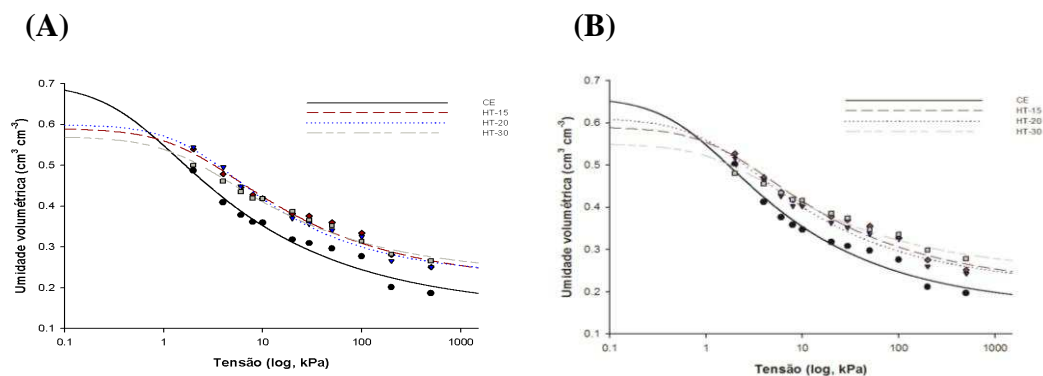
0-10	0,32 Aa	0,15 Bb	0,15 Bb	0,14 Bb
10-30	0,29 Aa	0,15 BCb	0,18 Bb	0,11 Cb
30-40	0,27 Aa	0,12 BCb	0,19 Bb	0,11 Cb
40-70	0,29 Aa	0,16 Bb	0,20 Bb	0,17 Bba
70-100	0,28 ABa	0,29 ABa	0,30 Aa	0,23 Ba

Microporosidade (m³ m⁻³)

0-10	0,38 Ba	0,44 Aa	0,45 Aa	0,44 Aab
10-30	0,37 Ba	0,44 Aa	0,43 Aba	0,43 Aab
30-40	0,39 Ba	0,44 Aa	0,40 Bcb	0,45 Aa
40-70	0,37 Ba	0,44 Aa	0,42 Aba	0,43 Aab
70-100	0,39 Aa	0,38 Ab	0,38 Ac	0,40 Ab

Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas na linha comparam tratamentos e minúsculas nas colunas, profundidades.

O comportamento das curvas de retenção de água (CRA) obtidas para cada situação de uso e camadas (Figura 3) indicam que a maior retenção de água acontece nas áreas de olericultura, comparativamente ao cerrado. As alterações foram mais acentuadas nas camadas acima de 70 cm, sendo que abaixo, as curvas demonstraram semelhanças (Figura 3), o que parece estar adequado considerando as observações feitas para as variáveis comentadas até o presente. Constatou-se que o modelo van Genuchten (1980) mostrou-se eficiente nos casos estudados, apresentando R² em torno de 0,97 - 0,99 (Tabela 7).



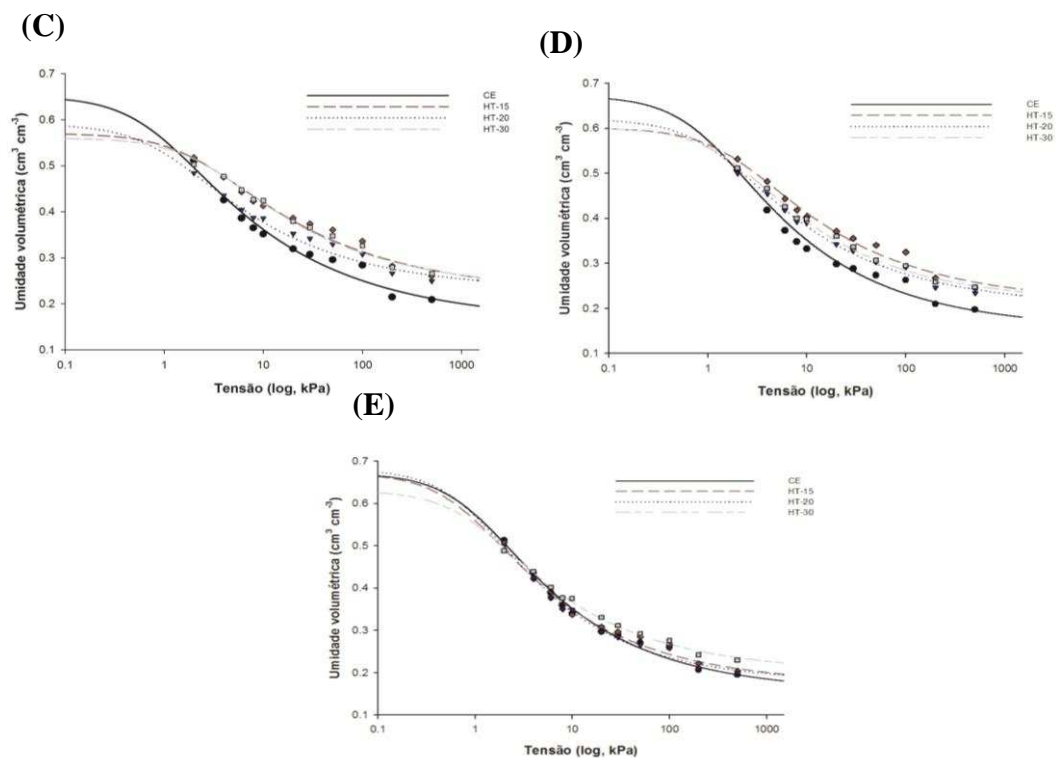


Figura 3. Curvas de retenção de água no solo ajustadas pelo modelo van Genuchten (1980) de Latossolos Vermelho-Amarelo em produção intensiva de olerícolas a 15 (HT₁₅), 20 (HT₂₀) e 30 (HT₃₀) anos e vegetação de Cerrados (CE), nas camadas 0-10 cm (A), 10-30 cm (B), 30-40 cm (C), 40-70 cm (D) e 70-100 cm (E)

Tabela 7. Médias de umidades, parâmetros de ajuste do modelo de van Genuchten (1980) e índice S de Latossolo Vermelho-Amarelo de Latossolos Vermelho-Amarelo em produção intensiva de olerícolas a 15 (HT₁₅), 20 (HT₂₀) e 30 (HT₃₀) anos e vegetação de Cerrados (CE), em diferentes camadas

Áreas	θ_s	θ_r	α	m	n	R ²	Índice S
	m ³ m ⁻³						
0-10 cm							
CE	0,70	0,14	2,1336	0,2423	1,3198	0,9800	0,0963
HT ₁₅	0,59	0,21	0,4937	0,2546	1,3416	0,9742	0,0693
HT ₂₀	0,60	0,23	0,4327	0,3020	1,4327	0,9864	0,0797
HT ₃₀	0,57	0,23	0,5514	0,2619	1,3547	0,9829	0,0635
10-30 cm							
CE	0,66	0,16	1,4586	0,2591	1,3497	0,9810	0,0924
HT ₁₅	0,59	0,21	0,5882	0,2518	1,3366	0,9752	0,0684
HT ₂₀	0,61	0,21	0,7699	0,2652	1,3610	0,9801	0,0750
HT ₃₀	0,55	0,24	0,5767	0,2480	1,3297	0,9779	0,0549
30-40 cm							
CE	0,65	0,161	1,2010	0,2625	1,3559	0,9816	0,0915
HT ₁₅	0,57	0,219	0,4722	0,2545	1,3414	0,9749	0,0636
HT ₂₀	0,59	0,228	0,9856	0,2793	1,3703	0,9861	0,0708
HT ₃₀	0,56	0,228	0,3894	0,2754	1,3800	0,9851	0,0649

40-70 cm							
CE	0,67	0,154	1,0421	0,2885	1,4056	0,9913	0,1057
HT₁₅	0,60	0,210	0,5392	0,2724	1,3743	0,9835	0,0754
HT₂₀	0,62	0,204	0,8126	0,2844	1,3975	0,9921	0,0838
HT₃₀	0,60	0,213	0,6061	0,2922	1,4129	0,9934	0,0801
70-100 cm							
CE	0,67	0,154	1,0421	0,2885	1,4056	0,9913	0,1057
HT₁₅	0,67	0,172	1,2774	0,2863	1,4012	0,9887	0,1012
HT₂₀	0,68	0,177	1,1355	0,3113	1,4521	0,9949	0,1108
HT₃₀	0,63	0,201	1,0080	0,2891	1,4026	0,9951	0,0876

θ_s : Umidade de saturação; θ_r : Umidade residual; α , m e n : parâmetros empíricos; R^2 : coeficiente de determinação.

As umidades associadas à capacidade de campo (CC), ao ponto de murcha permanente (PMP) e a resultante água disponível (AD) foram menores em CE, comparativamente às HTs. Para a CC e o PMP diferenças significativas foram observadas entre CE e cultivos em todas as camadas avaliadas. Para a CC, diferenças significativas entre cultivos foram observadas na camada de 30-40 onde o HT₃₀ e HT₁₅ apresentaram maiores valores e em e 70-100 cm, em que o HT₃₀ apresentou maior umidade em relação aos demais cultivos e CE. Para o PMP, diferenças significativas entre cultivos ocorreram nas camadas de 10-30 e 70-100 cm, onde o HT₃₀ obteve os maiores valores. Para água disponível (AD) foram observadas diferenças significativas entre áreas e áreas de cultivo somente na camada de 30-40 cm, o HT₃₀ e HT₁₅ apresentaram maiores valores em relação ao HT₂₀ e CE (Tabela 8).

Tabela 8. Médias das umidades correspondentes à capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD) de Latossolos Vermelho-Amarelo em produção intensiva de olerícolas a 15 (HT₁₅), 20 (HT₂₀) e 30 (HT₃₀) anos e vegetação de Cerrados (CE), em diferentes camadas

Camadas (cm)	Áreas			
	CE	HT ₁₅	HT ₂₀	HT ₃₀
Capacidade de campo (m³ m⁻³)				
0-10	0,35 Ba	0,42 Aa	0,42 Aa	0,42 Aa
10-30	0,35 Ba	0,41 Aa	0,40 Aa	0,42 Aa
30-40	0,35 Ba	0,41 Aba	0,39 ABab	0,42 Aa
40-70	0,33 Ba	0,40 Aa	0,39 Aa	0,40 Aab
70-100	0,34 Cba	0,34 CBb	0,35 BAb	0,38 Ab
Ponto de murcha permanente (m³ m⁻³)				
0-10	0,14 Ba	0,21 Aa	0,23 Aa	0,23 Aab

10-30	0,16 Ca	0,21 Ba	0,21 Bab	0,24 Aa
30-40	0,16 Ba	0,22 Aa	0,23 Aa	0,23 Aab
40-70	0,15 Ba	0,21 Aa	0,20 Ab	0,21 Abc
70-100	0,15 Ca	0,17 BCb	0,18 Bc	0,20 Ac
Água disponível (m³ m⁻³)				
0-10	0,20 Aa	0,21 Aa	0,19 Aa	0,19 Aa
10-30	0,19 Aa	0,20 Aa	0,19 Aa	0,18 Aa
30-40	0,19 Aa	0,19 Aa	0,16 Bb	0,20 Aa
40-70	0,18 Aa	0,19 Aa	0,19 Aa	0,19 Aa
70-100	0,19 Aa	0,17 Ab	0,17 Aab	0,17 Aa

Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas na linha comparam tratamentos e minúsculas nas colunas, profundidades.

O índice S apresentou os maiores valores em CE e os menores nas HTs, principalmente nas camadas mais superficiais (até 40 cm). O sistema HT₂₀ apresentou os maiores valores em relação a HT₁₅ e HT₃₀, assim como aumentos dos valores de S com a profundidade. No entanto, na última camada do HT₃₀ constataram-se os menores valores de S, sendo que entre os demais sistemas e CE, os valores foram maiores (Tabela 7).

3.5. Estabilidade de agregados

Todos os parâmetros de agregação e classes de tamanho apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre áreas na camada de 0-30 cm e, na segunda, apenas DMP e IEA e as classes de diâmetro 0,25-0,105 mm e $< 0,105$ mm (Tabela 9). Na última profundidade (70-100 cm) não ocorreram diferenças significativas para as variáveis avaliadas entre as áreas

Observou-se que, de modo geral, os valores de DMP e DMG apresentaram um aumento em HT₁₅ e HT₃₀, quando comparados à CE e HT₂₀, principalmente nas duas camadas superficiais (0-30 cm e 30-40 cm). O IEA apresentou-se elevado, próximo de 100, havendo diferenças estatísticas para HT₂₀, tanto em relação as demais situações estudadas quanto em profundidade, sendo que na camada de 70-100 cm não foram constatadas diferenças. O sistema HT₂₀ apresentou os menores valores para todos os parâmetros de agregação avaliados, consequência do aumento da proporção de agregados nas classes de menor tamanho.

Entre as classes de agregados, os resultados evidenciam a predominância de macroagregados ($\geq 250 \mu\text{m}$) em todos os tratamentos, constatando-se diferenças

significativas entre áreas na camada de 0-30 cm. Nessa camada, a porcentagem de macroagregados foi maior para HT₁₅, HT₃₀ e HT₂₀, correspondente às classes 2-1, 1-0,5 e 0,5-0,25 mm, respectivamente, enquanto que para os microagregados, o HT₂₀ apresentou as maiores porcentagens nas classes 0,25-0,105 e <0,105 mm.

Na camada de 30-40 cm, a estabilidade de agregados foi a menor entre todas as situações estudadas quando comparada com a camada 0-30 cm. Os valores de DMP e DMG reduziram com o aumento da profundidade e o IEA foi significativamente menor em HT₂₀. Entre as classes de tamanho avaliadas diferenças significativas entre os usos foram observados apenas para os microagregados ($\leq 250 \mu\text{m}$), onde o HT₂₀ mostrou-se com as maiores porcentagens (Tabela 9).

Tabela 9. Médias de diâmetro médio ponderado (DMP) e geométrico (DMG), índice de estabilidade de agregados (IEA) e porcentagens de agregados em água em diferentes classes de tamanho de Latossolos Vermelho-Amarelo em produção intensiva de olerícolas a 15 (HT₁₅), 20 (HT₂₀) e 30 (HT₃₀) anos e vegetação de Cerrados (CE), em diferentes camadas

Camadas (cm)	Áreas			
	CE	HT ₁₅	HT ₂₀	HT ₃₀
	DMP (mm)			
0-30	0,58 Aa	0,62 Aa	0,48 Ba	0,61 Aa
30-40	0,50 ABab	0,56 Aa	0,44 Ba	0,50 ABb
70-100	0,44 Ab	0,45 Ab	0,44 Aa	0,44 Ab
	DMG (mm)			
0-30	0,53 ABa	0,57 Aa	0,50 Ba	0,58 Aa
30-40	0,47 Ab	0,51 Ab	0,47 Aa	0,49 Ab
70-100	0,46 Ab	0,44 Ac	0,47 Aa	0,45 Ab
	IEA (%)			
0-30	99,41 Aa	99,30 Aa	98,68 Bb	99,35 Aa
30-40	99,43 Aa	99,51 Aa	98,83 Bab	99,39 Aa
70-100	99,17 Aa	99,47 Aa	99,17 Aa	99,28 Aa
	2-1 mm (%)			
0-30	14,83 ABa	18,19 Aa	12,28 Ba	16,69 ABa
30-40	11,26 Aab	13,60 Ab	9,09 Aa	10,56 Ab
70-100	9,93 Ab	8,58 Ac	9,08 Aa	8,98 Ab
	1-0,5 mm (%)			
0-30	29,93 ABa	32,21 Aa	23,01 Ba	36,61 Aa
30-40	24,31 Aab	27,11 Aa	21,91 Aa	26,43 Ab
70-100	19,29 Ab	19,42 Ab	22,60 Aa	21,57 Ab
	0,5-0,25 mm (%)			
0-30	38,54 ABa	35,43 ABb	42,27 Aa	30,70 Bb
30-40	41,46 Aa	43,09 Aab	44,71 Aa	43,06 Aa

70-100	42,29 Aa	48,30 Aa	41,66 Aa	42,22 Aa
		0,25-0,105 mm (%)		
0-30	16,41 ABb	13,84 Bb	21,82 Aa	15,62 ABb
30-40	22,60 ABab	15,92 Bb	23,72 Aa	19,53 ABb
70-100	27,93 Aa	23,31 Aa	26,05 Aa	26,68 Aa
		<0,105 (%)		
0-30	0,29 Bb	0,33 Ba	0,62 Aa	0,38 Aba
30-40	0,37 ABab	0,29 Ba	0,56 Aa	0,42 Aba
70-100	0,56 Aa	0,39 Aa	0,60 Aa	0,54 Aa

Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas na linha comparam tratamentos e minúsculas nas colunas, profundidades.

Os índices de dispersão obtidos para as áreas e profundidades estudadas e suas respectivas significâncias estatísticas estão apresentados na Tabela 10. De modo geral, o CE apresentou os menores valores de ID e as áreas cultivadas os maiores IDs nos níveis de energia aplicados. Diferenças significativas entre sistemas de olericultura e cerrado foram observadas na maioria das camadas avaliadas entre os níveis de 0 e 14,8 J mL⁻¹. Observou-se diferenças para o ID entre cultivos, com destaque para a camada de 30-40 cm no nível de energia 14,8 J mL⁻¹, onde o sistema HT₃₀ atingiu maiores índices de dispersão em relação ao HT₂₀ e HT₁₅. A partir deste nível de energia, não foram identificadas diferenças estatísticas entre os usos.

Tabela 10. Índices de dispersão obtidos para cada nível de energia aplicada em Latossolos Vermelho-Amarelo em produção intensiva de olerícolas a 15 (HT₁₅), 20 (HT₂₀) e 30 (HT₃₀) anos e vegetação de Cerrados (CE), nas camadas de 0-30 cm (A), 30-40 cm (B) e 70-100 cm (C)

Camada (cm)	Áreas			
	CE	HT ₁₅	HT ₂₀	HT ₃₀
		0 (J mL⁻¹)		
0-30	0,03 Bb	0,06 BAa	0,07 BAa	0,09 Aa
30-40	0,03 Ab	0,05 Aa	0,05 Aa	0,03 Ab
70-100	0,08 Aa	0,03 Ba	0,06 BAa	0,05 BAb
		1,24 (J mL⁻¹)		
0-30	0,10 Cb	0,14 Ba	0,19 Aa	0,09 Cb
30-40	0,14 Aa	0,12 Aa	0,11 Ab	0,08 Bb
70-100	0,14 Aa	0,09 Bb	0,12 Ab	0,13 Aa
		3,71 (J mL⁻¹)		
0-30	0,15 Bb	0,27 Aa	0,25 Aa	0,25 Aa
30-40	0,18 Aab	0,18 Aba	0,20 Aa	0,17 Ab
70-100	0,23 Aa	0,22 Ab	0,20 Aa	0,24 Aa
		7,42 (J mL⁻¹)		
0-30	0,22 Bb	0,34 Aa	0,34 Aa	0,31 Ab
30-40	0,20 Bb	0,31 Aa	0,32 Aa	0,29 Ab

70-100	0,30 BCa	0,35 BAa	0,25 Cb	0,41 Aa
		14,8 (J mL⁻¹)		
0-30	0,34 Ab	0,46 Aa	0,45 Aa	0,45 Ab
30-40	0,37 Bb	0,43 BAa	0,45 BAa	0,51 Aba
70-100	0,50 Aa	0,54 Aa	0,50 Aa	0,58 Aa
		29,69 (J mL⁻¹)		
0-30	0,39 Ab	0,51 Aa	0,49 Aa	0,48 Aa
30-40	0,47 Aba	0,52 Aa	0,55 Aa	0,64 Aa
70-100	0,64 Aa	0,68 Aa	0,68 Aa	0,68 Aa
		44,53 (J mL⁻¹)		
0-30	0,47 Aa	0,59 Aba	0,58 Aba	0,56 Ab
30-40	0,58 Aa	0,51 Ab	0,58 Ab	0,72 Aba
70-100	0,68 Aa	0,78 Aa	0,81 Aa	0,81 Aa
		59,38 (J mL⁻¹)		
0-30	0,55 Ab	0,64 Aa	0,64 Aa	0,68 Aa
30-40	0,60 Aba	0,66 Aa	0,57 Aa	0,77 Aa
70-100	0,80 Aa	0,84 Aa	0,78 Aa	0,86 Aa

Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas na linha comparam tratamentos e minúsculas nas colunas, profundidades.

Os teores de argila dispersa em água via sonicação estão apresentados na Tabela 11. Observou-se que na camada de 0-30 cm ocorreram interações significativas entre as áreas nos níveis de energia, 0, 1,24 e 7,42 J mL⁻¹, sendo que, acima de 7,42 J mL⁻¹ não foram observadas diferenças significativas para os teores de argila dispersa. Entre os níveis de energia aplicados até 40 cm de profundidade, o sistema HT₃₀ destacou-se apresentando maiores teores de argila dispersa. Na camada de 30-40 cm, as diferenças significativas ocorreram em quase todos os níveis de energia, e o HT₃₀ também apresentou os maiores teores de ADA (Tabela 11). Na última camada, 70-100 cm, ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos na maioria dos níveis de energia aplicados. A área de cerrado nativo apresentou maiores teores de argila dispersa em relação aos sistemas cultivados. No nível de energia 59,38 J mL⁻¹, não foram observadas diferenças significativas entre tratamentos em nenhuma das camadas avaliadas.

Tabela 11. Teores de argila dispersa em cada nível de energia específica aplicada em Latossolos Vermelho-Amarelo em produção intensiva de olerícolas a 15 (HT₁₅), 20 (HT₂₀) e 30 (HT₃₀) anos e vegetação de Cerrados (CE), nas camadas de 0-30 cm (A), 30-40 cm (B) e 70-100 cm (C)

Camadas (cm)	Áreas			
	CE	HT ₁₅	HT ₂₀	HT ₃₀
	0 (J mL⁻¹)			
0-30	0,029 Ba	0,242 Aa	0,014 Ba	0,032 Ba
30-40	0,017 Ba	0,246 Aa	0,016 Ba	0,023 Ba
70-100	0,028 Aa	0,019 Ab	0,014 Aa	0,024 Aa
	1,24 (J mL⁻¹)			
0-30	0,012 Aa	0,010 BAa	0,010 BAba	0,007 Ba
30-40	0,006 BAb	0,004 Bb	0,012 Aa	0,007 BAa
70-100	0,011 BAba	0,015 Aa	0,010 Cb	0,006 BCa
	3,71 (J mL⁻¹)			
0-30	0,024 Ab	0,023 Ab	0,025 Aa	0,032 Aa
30-40	0,027 Bb	0,016 Cb	0,027 Ba	0,038 Aa
70-100	0,049 Aa	0,033 Ba	0,025 BAa	0,003 Cb
	7,42 (J mL⁻¹)			
0-30	0,035 Bb	0,064 BAa	0,047 BAb	0,078 Aa
30-40	0,058 Bba	0,068 Ba	0,074 BAba	0,103 Aa
70-100	0,080 Ab	0,022 Bb	0,047 Aa	0,017 Bb
	14,8 (J mL⁻¹)			
0-30	0,075 Ab	0,094 Aa	0,091 Aa	0,116 Ab
30-40	0,106 Bb	0,117 Ba	0,099 Ba	0,219 Aa
70-100	0,188 Aa	0,016 Ab	0,091 Ba	0,011 Bc
	29,69 (J mL⁻¹)			
0-30	0,137 Ab	0,136 Aba	0,141 Ab	0,174 Ab
30-40	0,230 Ab	0,200 Aa	0,209 Aa	0,318 Aa
70-100	0,360 Aa	0,031 Bb	0,141 Ab	0,018 Bc
	44,53 (J mL⁻¹)			
0-30	0,143 Ab	0,198 Aa	0,191 Ab	0,155 Ab
30-40	0,291 BAa	0,193 Ba	0,198 Bb	0,407 Aa
70-100	0,352 Aa	0,016 Bb	0,191 Ab	0,007 Bc
	59,38 (J mL⁻¹)			
0-30	0,246 Aba	0,242 Aa	0,280 Aa	0,290 Aab
30-40	0,359 Aa	0,280 Aa	0,261 Aa	0,381 Aa
70-100	0,013 Ab	0,019 Aa	0,028 Aa	0,025 Ab

Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas na linha comparam tratamentos e minúsculas nas colunas, profundidades.

4. DISCUSSÃO

4.1. Similaridade pedogenética entre aos solos coletados

A comparação dos resultados obtidos nas áreas selecionadas (cultivadas e sob vegetação de Cerrado) foi precedida de uma avaliação da similaridade entre as mesmas. Os solos estudados apresentam propriedades químicas e mineralógicas típicas de Latossolos Vermelho-Amarelo da região (Rolim Neto et al., 2009). A área nativa apresenta propriedades químicas características dessa classe, possuindo elevada acidez ativa, trocável e potencial, assim como teores de fósforo disponível muito baixo (Tabela 1) (Ribeiro et al., 1999). Em relação às propriedades físicas, todos os Latossolos enquadram-se na classe textural muito argilosa, apresentando teores de argila $\geq 600 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 3).

A análise da composição química da fração argila por meio do ataque sulfúrico demonstra que estes solos situam-se em elevado estágio de intemperização. A fração argila possui tendência a ser mais gibbsítica do que caulínítica, devido aos baixos valores de K_i ($\leq 0,75$) encontrados (Resende & Santana, 1988), consequência dos elevados teores de Al_2O_3 em relação aos teores de SiO_2 (Tabela 2). As extrações realizadas com oxalato e ditionito-citratobicarbonato na fração argila indicam predomínio das formas cristalinas sobre as amorfas, típico de Latossolos (Tabela 2).

Segundo Ferreira et al. (1999a) caulinita e gibbsita são os constituintes mineralógicos que exercem maior influência sobre as propriedades físicas dos Latossolos da região Sudeste do Brasil. Os Latossolos gibbsíticos apresentam menor densidade do solo, maior estabilidade de agregados em água, maior macroporosidade e maior permeabilidade, quando comparados a Latossolos caulíníticos. De acordo com o modelo de estruturação dos Latossolos proposto por Ferreira et al. (1999b) a gibbsita implica o desenvolvimento de macroestrutura do tipo granular.

4.2. Argila dispersa em água, grau de flocculação, densidade de partículas e carbono orgânico total

O incremento dos teores de ADA foi maior nos sistemas de olericultura em relação ao CE nas camadas superficiais. Isto pode ser atribuído ao efeito compressivo causado pelos implementos agrícolas e ao revolvimento, atividades que desestruturam o solo, aumentando a argila dispersa em água, com destaque para HT₃₀ e HT₁₅. O

aumento da ADA nas áreas cultivadas pode ser consequência da prática de calagem, pois, segundo Fontes et al. (1995), a natureza dispersiva do CaCO_3 em Latossolos ocorre devido a substituição do Al^{3+} pelo Ca^{2+} e/ou Mg^{2+} e ao aumento do pH. A substituição do Al^{3+} ocorre por ação em massa, sendo facilitado pela hidrólise e posterior precipitação. Com a substituição de íons de maior por outro de menor poder floculante, como o Ca^{2+} ou Mg^{2+} , ocorre o aumento da espessura da dupla camada difusa (DCD). A elevação do pH gera um aumento de cargas negativas na superfície das partículas favorecendo, assim, a repulsão. Ambos os processos atuam no sentido de aumentar a dispersão do solo, como observado por Albuquerque et al. (2000) em Latossolo Bruno e Spera et al. (2008) em Latossolo Vermelho distrófico, onde os aumentos nos teores de ADA foram associados nos solos estudados à prática da calagem.

Nas duas primeiras camadas avaliadas os teores de ADA não foram suficientes para promover alterações no GF dos Latossolos. Na última camada, o aumento da ADA em CE e HT₂₀ proporcionou consequente diminuição no GF. Em CE os aumentos da ADA e diminuição do GF, pode ser atribuído ao leve incremento nos teores de COT na área de cerrado em relação aos cultivos, como constatado por De Almeida et al. (2009) que verificaram aumento nos teores de ADA em profundidade sob área nativa diretamente proporcionais aos maiores teores de matéria orgânica encontrados em Latossolo Vermelho, comparados a sistemas de preparo convencional com cana-de-açúcar. Segundo Pedrotti et al. (2003) a participação da matéria orgânica no fenômeno de dispersão está relacionada com a presença de grupamentos carboxílicos, responsáveis, por sua vez, pelo surgimento de cargas negativas. No sistema HT₂₀ a dispersão pode ser atribuída aos maiores valores de pH em profundidade no HT₂₀ em relação aos demais cultivos, proporcionando aumento nas cargas negativas dependentes, promovendo efeito dispersivo.

O carbono orgânico total (COT) foi maior nas camadas superficiais em relação às subsuperficiais em todas as áreas. O CE apresentou as maiores porcentagens, fato que está relacionado ao maior aporte de resíduos na mata e ao não revolvimento do solo, comportamento que corrobora com o estudo de Albuquerque et al. (2005) que encontraram na camada superficial de Latossolo Vermelho maiores teores de carbono orgânico em área nativa em relação ao preparo reduzido e convencional. Já nos sistemas de cultivo convencional os menores teores de COT ocorreram devido ao fato do

revolvimento promover o aumento da decomposição da matéria orgânica e não aportar elevada quantidade de restos culturais ao solo como ocorre em CE (Braida et al., 2011).

Para a densidade de partículas (Dp), os maiores valores foram observados nos Latossolos sob cultivo em relação ao CE, o que está diretamente relacionado aos maiores teores de COT encontrados nas áreas de cerrado nativo. A matéria orgânica possui baixa massa específica em relação à massa das partículas inorgânicas (minerais), contribuindo para os menores valores de Dp (Ferreira, 2010).

4.3. Densidade do solo, grau de compactação, resistência à penetração, porosidade e condutividade hidráulica

O incremento da densidade do solo (Ds) nas áreas de olericultura em relação ao cerrado ocorreu nas camadas superficiais, e principalmente na camada de 30-40 cm. O aumento na Ds nestas áreas pode ser atribuído ao tráfego de máquinas em superfície e a maior influência da ação dos implementos na camada arável. Além disso, como já evidenciado, a dispersão de argila na camada superficial pode estar acarretando na eluviação para as camadas inferiores, promovendo a compactação subsuperficial do solo, aumentando a Ds (Prado & Centurion, 2001).

Os maiores valores de Ds ocorreram no sistema HT₃₀, o tempo de uso, possivelmente está influenciando neste desempenho, promovendo maior efeito de compactação. Os teores de carbono orgânico alteram os valores de densidade do solo, a baixa Ds é atribuída à baixa massa da matéria orgânica, em comparação com as partículas inorgânicas, e ao efeito de granulação da matéria orgânica, que aumenta a porosidade do solo (Fageria & Stone, 2006). Os maiores valores de Ds entre cultivos foram observados em HT₃₀ e HT₁₅, e menores em HT₂₀, sendo inversamente proporcionais aos teores de COT observados nestas áreas. Os menores valores de Ds encontrados em CE evidenciam a influência da não perturbação por uso de máquinas, e dos maiores teores de COT encontrados. Os resultados constatados corroboram com os estudos de Reynolds et al. (2002) que encontraram menor Ds em mata nativa em relação ao preparo convencional e plantio direto, e de Tavares Filho et al. (2010) que encontraram maiores valores de Ds em Latossolo sob sistema convencional com cana-de-açúcar quando comparados ao plantio direto com culturas anuais, pastagem e mata nativa.

Uma forma de classificar valores limitantes de Ds para as culturas é utilizando a densidade crítica (Reichert, 2007). A partir dos dados de densidade do solo crítica quando o intervalo hídrico ótimo é igual a zero Reichert et al (2003) indicaram valores críticos de densidade de acordo com classes texturais, estabelecendo intervalo de 1,25 a 1,30 kg dm⁻³, para a classe muito argilosa. A Ds do solo obtida em HT₁₅ e HT₃₀ ao longo do perfil, com destaque para a camada de 30-40 cm, já se aproximam destes valores de densidade crítica.

O grau de compactação das áreas cultivadas foi maior do que em CE, comportamento esperado, devido aos altos valores de Ds observados. Nos sistemas de hortifruticultura, os valores situaram-se acima de 83% na maior parte do perfil, exceção apenas da última profundidade, onde os valores foram próximos ao CE. Estes resultados relacionam-se ao tráfego de máquinas durante as operações realizadas ao longo do ciclo das culturas, assim como a utilização de grade pesada nas operações de preparo, como observado por Da Silva e Cabeda (2006) que também atribuíram estes fatores ao aumento no GC em Argissolo cultivado com cana-de-açúcar sob sistema convencional. Segundo Reichert et al. (2009) quando se utiliza o teste uniaxial com amostras deformadas para se determinar a densidade máxima (Dmax), valores de GC em torno de 94% são considerados limitantes às plantas. Na camada de 10-30 cm os sistemas HT₃₀ e HT₁₅ já ultrapassam este valor estabelecido

O grau de compactação que relaciona a densidade do solo com algum estado de compactação máxima tem-se mostrado útil na caracterização da compactação do solo e a resposta das culturas, porém em áreas agrícolas apresenta grandes lacunas (Reichert et al.,2010). Alguns trabalhos abordam a relação do GC com a produtividade de culturas, porém em sistemas de cultivo com hortaliças estes estudos são escassos.

Nas áreas avaliadas, ocorre sucessão com cereais como a soja e o milho. De acordo com Dos Santos et al. (2005) um certo grau de compactação do solo favorece maiores produções de matéria seca da parte aérea em milho com GC entre 75 e 77% em Latossolo Vermelho-Amarelo e 65% em Latossolo Vermelho. Para a cultura da soja, Suzuki et al. (2007) constataram que em Latossolo o GC ótimo é de 86%. Em estudos mais recentes Da Silva et al. (2014) observaram que GC acima de 75% pode restringir o crescimento das raízes da soja, quando superior a 82% a altura de plantas diminui e quando superior a 87 e 93 % reduz respectivamente a massa da matéria seca da parte aérea e a evapotranspiração. Assim, os altos valores de GC observados nos Latossolos

estudados podem afetar a produtividade dessas culturas utilizadas em sucessão com as hortaliças.

A resistência do solo à penetração é influenciada pela D_s , portanto, o comportamento da RP foi correspondente ao aumento da D_s observado nessas áreas (Nakamura, 2012). Os valores de RP constatados em HT₃₀ ultrapassam o nível crítico de 2 MPa (Taylor et al. 1966) para o crescimento do sistema radicular de plantas. Os sistemas HT₁₅ e HT₂₀ também apresentaram valores elevados, principalmente na camada de 30-40 cm, onde o HT₁₅ atinge 2 MPa. Tais ocorrências provavelmente estão relacionadas ao preparo do solo, pois a gradagem é realizada até 35 cm de profundidade, o que corrobora com o modo de ação do implemento utilizado, geralmente formando uma camada mais compactada abaixo da camada revolvida, o chamado “pé-de-grade”.

Alguns trabalhos buscam um valor ou uma faixa de valores críticos de resistência à penetração que restringem o crescimento das plantas, pois estas respondem diferentemente a estes valores (Reichert, 2007). Estudos demonstram que para milho, valores de 1,3 MPa (Rosolem et al., 1999) para a soja de 2 a 3 MPa (Sato et al., 2015) e 2,09 MPa (De Maria et al., 1999) restringiram o crescimento do sistema radicular.

A compactação do solo nas áreas cultivadas, verificada por meio dos elevados valores de D_s e RP, com conseqüente redução do espaço poroso, interferiu na condutividade hidráulica do solo saturado. A área de CE apresentou valores superiores de K_0 em relação aos cultivos. No sistema HT₃₀, a K_0 foi menor quando comparada aos demais sistemas e CE, fato esperado devido aos menores valores de macroporos constatados nesta área, resultados que corroboram com os estudos de Angelotti Netto e Fernandes (2005), Da Silva et al. (2005) e Dantas et al. (2012).

4.4. Porosidade, retenção de água e índice S

O aumento da densidade do solo causa modificações na distribuição do tamanho dos poros (Horn, 1995). Em virtude do aumento da D_s , nas áreas de olericultura constatou-se, conseqüentemente, reduções nos valores de porosidade total e macroporosidade, e aumento da microporosidade em relação ao CE. Tal comportamento sob cultivo convencional também foi identificado por Da Silva et al. (2005) em Argissolo e Machado et al. (2010) em Latossolo sob diferentes sistemas de colheita de cana-de-açúcar. Apesar das reduções, a PT encontra-se na faixa adequada estabelecida

para solos argilosos, o que, conforme Libardi (2005), para uma D_s entre 1,0 - 1,25 kg dm^{-3} , a P_T deve situar-se entre (0,52 – 0,61 $m^3 m^{-3}$).

As maiores alterações na porosidade total e macroporosidade foram observadas em HT₃₀ e HT₁₅, desempenho esperado, estando de acordo com os altos valores de D_s , GC, e RP constatados nestas áreas. Entre sistemas de olericultura, as médias de microporosidade mantiveram-se constantes. Em estudo sob cultivo convencional, Jorge et al. (2012) observaram aumento da microporosidade com o incremento da D_s do solo em áreas com maior tempo de uso (25 anos), já Tormena et al. (2002) observaram o mesmo desempenho em solo com plantio direto.

As mudanças na proporção de poros de maior tamanho atribuídos ao uso do solo proporcionaram alterações na retenção de água. Os sistemas de cultivo com diferentes tempos de uso alteraram o traçado das curvas características nas profundidades avaliadas, em virtude do aumento da densidade do solo (Figura 3). Observou-se maior retenção de água nas áreas de olericultura quando comparadas com o cerrado nativo. Esse fato é atribuído à diminuição da macro e o aumento da microporosidade. Tais mudanças promoveram maiores teores de água retidos nas áreas cultivadas, quando comparadas ao CE (Figura 3).

Apesar dos maiores teores de COT, CE não apresentou maiores teores de AD. Segundo Bleuter et al. (2002) estes resultados permitem inferir que a matéria orgânica melhora a estrutura do solo, mas não a retenção de água, quando ocorrem variações na densidade do solo, ou seja, a D_s superior nos solos cultivados apresenta efeito positivo e superior ao da matéria orgânica na CC. Assim, a maior umidade na CC observada nos cultivos, atribui-se, principalmente aos aumentos da D_s . Estes resultados concordam com o estudo de Figueredo et al. (2009) em Latossolo Vermelho, constatando que a transformação do cerrado nativo em sistemas de uso intensivo possibilitou aumento da retenção de água no solo.

De modo geral, os valores de água disponível (AD) não sofreram alterações entre CE e cultivos. Maiores valores de umidade no PMP foram observadas nas áreas cultivadas em relação ao CE. Isto demonstra que o maior conteúdo de água retido nos cultivos pode não resultar em benefício para as plantas, devido ao aumento na retenção de água em maiores tensões, permanecendo indisponível (Beutler et al., 2002).

Alterações semelhantes foram observadas por Klein & Libardi (2002) em Latossolo Vermelho Ácrico de textura argilosa sob diferentes usos, onde o aumento da D_s promoveu maior umidade no PMP. Os autores afirmam que essas diferenças podem

interferir muito pouco na disponibilidade de água às plantas, pois maiores valores de umidade próximos à saturação significam água facilmente drenável. As diferenças importantes estão nos valores de umidade próximos ao PMP, pois maiores valores significam água indisponível.

Assim, apesar dos aumentos na retenção de água nos Latossolos sob cultivo, os valores de AD não sofreram alterações, porém o incremento na Ds contribuiu para aumentos nos valores de umidade equivalente a CC nas áreas cultivadas. Este comportamento pode ser benéfico, devido ao fato destes Latossolos estudados possuírem elevada porosidade total em condições naturais, como consequência da estrutura granular, fator que conseqüentemente promove elevada permeabilidade nos Latossolos, assim a água retida em menores tensões pode ser considerada água facilmente drenável.

O Índice S foi maior na área de cerrado nativo e menores valores foram encontrados nas áreas de cultivo. De modo geral, entre áreas manejadas, o sistema HT₂₀ apresentou-se com maiores valores de S, principalmente nas primeiras camadas. Uma inclinação pequena corresponde ao solo pouco estruturado (homogeneidade estrutural), conseqüentemente, menores valores de S, já uma inclinação elevada corresponde a um solo bem estruturado com poros de diferentes tamanhos (heterogeneidade estrutural), ou seja, maiores valores de S (Da Silva et al., 2010). Assim, os maiores valores de S em CE e HT₂₀, indicam que estes solos possuem melhor qualidade estrutural em relação aos HT₃₀ e HT₁₅ (Dexter, 2004). Resultados estes que se correlacionam bem ao comportamento da Ds, PT, Ma, e Mi entre os tratamentos, como também verificado por Andrade e Stone (2009) estudando solos do cerrado.

4.5. Estabilidade de Agregados

O aumento da proporção de microagregados (<250 µm) em HT₂₀ contribuiu para a diminuição do IEA, DMP e DMG quando comparado aos demais sistemas e cerrado. A distribuição das classes explica o comportamento dos parâmetros de desagregação, pois o DMP é maior quando ocorre maior porcentagem de agregados grandes, já o IEA representa uma medida da agregação total do solo e não considera a distribuição por classes de agregados, quanto maior a quantidade de agregados < 0,25 mm, menor será o IEA (Castro filho et al., 1998). Nesta área, a adição de calcário, constatada pelos valores elevados de pH pode estar favorecendo a desestabilização dos macroagregados,

promovendo maior dispersão, pois foram observados neste uso maiores teores de COT e menores valores de Ds, RP e GC em relação as demais áreas de olericultura, podendo ser considerado o cultivo menos degradado dentre estes.

O DMP, DMG e IEA foram maiores em HT₃₀ e HT₁₅ porque apresentaram maior porcentagem de agregados nas classes 2-1 e 1-0,5 mm em relação ao HT₂₀ e CE na primeira camada. O pequeno acréscimo nos valores de DMP e DMG nas primeiras camadas para HT₃₀ e HT₁₅ em relação ao CE não era esperado, pois as áreas cultivadas apresentaram menores porcentagens de COT e maiores teores de argila dispersa em relação à área nativa. A maior estabilidade de agregados em água nessas áreas de cultivo pode ser decorrente dos processos de compressão do solo promovido pelo tráfego de máquinas, o que necessariamente não significaria algo positivo (Silva et al., 2012). De acordo com Silva et al. (2000b), no cultivo intensivo, por ação de compressão das partículas do solo pelo efeito do peso do arado e da grade, ocorre a formação de torrões na massa de solo, sem ocorrerem mecanismos que contribuam para sua estabilização, não apresentando as qualidades positivas de um agregado.

A estabilidade de agregados foi menor na profundidade de 30-40 cm em todos os tratamentos quando comparado com a camada superficial (Tabela 9), possivelmente devido à redução dos teores de carbono orgânico, assim como da proporção de raízes que se restringem as camadas superficiais. Tal comportamento também foi constatado por Kato et al. (2010) em Latossolo Vermelho-Amarelo do Cerrado sob pastagem, área nativa e eucalipto.

Por outro lado, avaliando-se a estabilidade de agregados via sonicação, observou-se que a área de cerrado nativo apresentou agregados mais estáveis em relação aos sistemas de cultivo, atingindo menores índices de dispersão em todas as profundidades avaliadas. Estes resultados concordam com os maiores teores de COT encontrados na área nativa, pois conforme Sá et al. (2002), para um mesmo tipo de solo com textura e mineralogia homogênea, como é o caso, os índices de dispersão evidenciam o uso/ manejo do solo, sendo este comportamento atribuído ao efeito da matéria orgânica atuando como agente cimentante, estabilizando os agregados.

As diferenças para os ID entre as áreas de cultivo observadas na segunda camada de 30-40 cm e o aumento da argila dispersa no HT₃₀ em relação ao HT₂₀ e HT₁₅, corroboram com os aumentos dos teores de ADA realizados pelo método tradicional e ultrassom, evento decorrente de práticas já mencionadas, como a mecanização e a calagem, promovendo a quebra de agregados e a dispersão, respectivamente.

Conforme Gregorich et al. (1988), a argila dispersa a baixos níveis de energia, provém de material que liga microagregados entre si, formando macroagregados, enquanto microagregados somente são destruídos a altos níveis de energia. Assim, estes resultados demonstram que os agregados de maior tamanho encontrados nas áreas de cultivo HT₃₀ e HT₁₅, pelo método de peneiramento via úmida não são estáveis. Este fato é evidenciado pelos maiores índices de dispersão e argila dispersa via ultrassom nestas áreas em relação ao cerrado nativo.

5. CONCLUSÕES

O preparo intensivo e o longo tempo de uso do solo com cultivo de olerícolas promoveram alterações nas propriedades físicas dos Latossolos estudados.

Constatou-se que as alterações estruturais causadas pelo sistema de preparo convencional em Latossolos proporcionaram aumento da retenção de água no solo em todas as áreas cultivadas.

O sistema com maior tempo de uso com cultivo de olerícolas (trinta anos) mostrou-se como o mais impactado em relação à qualidade física, porém a estrutura fortemente desenvolvida e a elevada friabilidade, particularidade desses Latossolos oxídicos, minimizam os impactos do efeito do uso prolongado com agricultura altamente intensiva devido à grande capacidade de resistência/resiliência física que estes solos apresentam.

6. REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.415-424, 2005.
- ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTANA, E. C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.295-300, 2000.
- ANDERSON, J.U. An improved pretreatment for mineralogical analysis of samples containing organic matter. *Clays Clay Miner.*, v.10, p.380-388, 1963.
- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do Cerrado brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.13, n.4, p.382-388, 2009.
- ANGELOTTI NETTO, A.; JOÃO FERNANDES, E. J. Condutividade hidráulica de um Latossolo Vermelho em pousio e cultivo intensivo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.40, n.8, p.797-802, 2005.
- BARRETO, W. Eletroquímica de solos tropicais de carga variável: capacidade da dupla camada elétrica. Itaguaí, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 1986. 273p. (Tese de Doutorado).
- BLAKE, G.R., HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A, ed. *Methods of soil analysis. Physical and mineralogical methods*. Madison: ASA, p.363-375, 1986.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.829-834, 2002.
- BRAIDA, J.A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.VII, 2011.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.22, p.527-538, 1998.

CHRISTENSEN, B.T. Carbon and nitrogen in particle size fractions isolated from Danish Arable soils by ultrasonic dispersion and gravity-sedimentation. *Acta Agriculturae Scandinavica*, v. 35, p. 175-187, 1985.

CUNHA, T. J. F.; MACEDO, J. R.; RIBEIRO, L. P.; PALMIERI, F.; DE FREITAS, P. L.; ARIOMAR DE CASTRO AGUIAR, A. C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob Cerrado. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.1, n.1, p.27-36, 2001.

CURI, N. et al. Problemas relativo ao uso, manejo e conservação do solo em Minas Gerais. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.16, p. 5–16. 1992.

DANTAS, J. D' A. N.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ASSIS, C. P. Qualidade de solo sob diferentes usos e manejos no Perímetro Irrigado Jaguaribe/Apodi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.16, n.1, p.18–26, 2012.

DA SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; LIMA, J. F. W. F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.833-842, 2005.

DA SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p.921-930, 2006.

DA SILVA, A. P.; TORMENA, C.; IMHOFF, S.; DIAS JUNIOR, MS.; KLEIN, W. Indicadores da qualidade física do solo. In: JONG VAN LIER, Q. de., ed. *Física do Solo*. 1. ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v1. p.298, 2010.

DA-SILVA, V. L.; DIECKOW, J.; MELLEK, J. E.; MOLIN, R.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F. M. Melhoria da estrutura de um Latossolo por sistemas de culturas em plantio direto nos campos gerais do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.983-992, 2012.

DA SILVA, F. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; DA COSTA, A. Crescimento inicial da cultura da soja em Latossolo Bruno com diferentes graus de compactação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, p.1731-1739, 2014.

DE ALMEIDA, C. X.; ; CENTURION, J. F.; JORGE, R. F.; ANDRIOLI, I.; VIDAL, A. A.; SERAFIM, R. S. Índice de floculação e agregação de um Latossolo Vermelho sob dois sistemas de colheita da cana-de-açúcar. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 25, n. 4, p. 123-129, 2009.

DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1981. 17p. (Boletim Extensão, 29).

DE MARIA, I.C.; CASTRO, O. M.; SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.703-709, 1999.

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.

DOS SANTOS, G. A.; DIAS JUNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; FURTINI NETO, A. E. Diferentes graus de compactação e fornecimento de fósforo influenciando no crescimento de plantas de milho (*Zea mays* L.) cultivadas em solos distintos. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 29, n. 4, p.740-752, 2005.

DOS SANTOS, M. A. A influência da dinâmica demográfica e domiciliar no processo de ocupação do Cerrado Brasileiro: o caso do Programa de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba, Minas Gerais, Brasil. Universidade Federal de Minas Gerais, 2010. Tese (Doutorado em Demografia). Belo Horizonte: UFMG, 2010, 168p.

DOURADO NETO, D.; JONG van LIER, Q.; BOTREL, T.A.; LIBARDI, P.L. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo utilizando o modelo de Genuchten. *Eng. Rural*, v.1, p.92-102, 1990.

EMBRAPA. Manual de método e análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA Solos, 230p, 2011.

EMBRAPA. Padronização de Métodos para Análise Granulométrica no Brasil. Rio de Janeiro. Almeida et al. (ed). 11p. 2012. (Embrapa Solos, circular técnica 66).

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Qualidade do solo e meio ambiente. *Embrapa Arroz e Feijão*, p.35, 2006.

FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23 p.515-524, 1999a.

FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.23, p.507-514, 1999b.

FERREIRA, M. M. Caracterização Física do Solo. In: In: JONG VAN LIER, Q. de., ed. Física do Solo. 1. ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v1. p.298, 2010.

FIGUEIREDO, C. C DE.; SANTOS, G. G.; PEREIRA, S.; DO NASCIMENTO, J. L.; ALVES JÚNIOR, J. Propriedades físico-hídricas em Latossolo do Cerrado sob

diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.13, n.2, p.146–151, 2009.

FONTES, M. P. F.; GJORUP, G. B.; ALVARENGA, R. C.; NASCIF, P. G. S. Calcium Salts and Mechanical Stress Effects on Water-Dispersible Clay of Oxisols. *Soil Science Society of America Journal*, MADISON, WI, v. 59, n.1, p. 224-227, 1995.

FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O. A; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia de solos altamente intemperizados. *Scientia Agrícola*, v.58 n.3, 2001.

FREITAS, P. L. de. Manejo Físico do Solo. In: CUNHA, T. J. F.; MACEDO, J. R.; RIBEIRO, L. P.; PALMIERI, F.; FREITAS, P. L.; AGUIAR, A. de C. Impacto do manejo convencional sobre propriedades físicas e substâncias húmicas de solos sob Cerrado. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.1, n. 1, p. 27-36, 2001.

GATTO, A.; BARROS, N. D.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. D. S.; VILLANI, E. M. D. A. Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 3, 735-740, 2009.

GREGORICH, E.G. et al. Ultrasonic dispersion of aggregates: distribution of organic matter in size fractions. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.68, p.395-403, 1988.

GREGORICH, E. G.; KACHANOSKI, R. G.; VORONEY, R.P. Carbon mineralization in soil size fractions after various amounts of aggregate disruption. *Journal of Soil Science*, Oxford, v. 40, n. 3, p. 649-659, 1989.

HÅKANSSON, I. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. *Soil & Tillage Research*, v.16, p.105-120, 1990.

HORN, R; DOMIAL, H; SLOWIHKKA-JURKIEWICZ, A; VAN OUWERKERK, C. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. *Soil & Tillage Research*, v.35, p. 23-36, 1995.

INMET- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/agro.html>>. Acesso em dezembro de 2015.

JACKSON, M. L. *Soil chemical analysis – advanced course*. Madison: Prentice Hall, p.895, 1979.

JORGE, R. F; ALMEIDA, C. X; BORGES, E. N; PASSOS, R. R. Distribuição de poros e densidade de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. *Bioscience Journal*., Uberlândia, v. 28, p. 159-169, 2012.

KAMIMURA, K. M.; DIAS JÚNIOR, M. S.; GUIMARÃES, P. T. G.; DOS SANTOS, G. R.; DE OLIVEIRA, M. S. Capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-Amarelo em uma lavoura cafeeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, p.1457-1465, 2012.

KARLEN, D.L., M.J. MAUSBACH, J.W. DORAN, R.G. CLINE, R.F. HARRIS.; G. E. Schuman. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, v. 61, p.4–10, 1997.

KATO, E.; RAMOS, M. L. G.; VIEIRA, D. F. A.; MEIRA, A. D.; MOURÃO, V. C. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Latossolo Vermelho-amarelo do cerrado, sob diferentes coberturas vegetais. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v.26, p. 732-738, 2010.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, p.499-510, 1965.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.26, p.857-867, 2002.

KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: BLACK, C .A. (ed). *Methods of Soil Analysis*. Madison: American Society of Agronomy, p.210-211, 1965.

Klute, A. Water retention: laboratory methods. In: Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.563-596.

LIBARDI, P. L. *Dinâmica da Água no Solo*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo (EDUSP), 344 p., 2005.

LUCIANO, R.V.; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A.; BATISTELLA, B.; MARIA TEREZA WARMLING, M. T. Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, p.1733-1744, 2012.

MACHADO, W.; TELLES, T. S.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; ALVES, G. B.; BORGES, J. L. B. Physical properties of a Rhodic Haplustox under two

sugarcane harvesting systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.1803-1809, 2010.

MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J. R. R. *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro, EMBRAPA Solos, 2002.

MEHRA, J.P. & JACKSON, M.L. Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with bicarbonate sodium. *Clay and Clay Minerals*, v.7, p. 317-327, 1960.

McKEAGUE, J.A.; DAY, J.H. Dithionite and oxalate - extractable Fe and Al as Aids in differentiating various classes of soils. *Canadian Journal of Soil Science*, v.46, p.13- 22, 1966.

NAKAMURA, R. Atributos físicos e mecânicos do solo avaliados por processamento digital de imagem e ensaios de rotina. *Dissertação (mestrado)*, Universidade Estadual Paulista (UNESP). 2012.

PEDROTTI, A.; FERREIRA, M. M.; CURTI, N.; SILVA, M. L. N; LIMA, J. M.; CARVALHO, R. Relação entre atributos físicos, mineralogia da fração argila e formas de alumínio no solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, 2003.

PIRES, L. F. Tomografia computadorizada, atenuação de raios gama e análise micromorfológica na avaliação de alterações na estrutura e retenção de água pelo solo. *Tese (Doutorado)*. Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 2006.

PRADO, R. DE M.; CENTURION, J. F. Alterações na cor e no grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Escuro sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 1, p. 197-203, 2001.

RAINE, S. R.; SO, B. Ultrasonic dispersion of soil in water: The effect of suspension properties on energy dissipation and soil dispersion. *Australian Journal of Soil Research*, London, v. 32, n. 6, p. 1157-1174, 1994.

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

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*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.5.p.49-134, 2007.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil & Tillage Research*, v.102, p. 242–254, 2009.

REICHERT et al. Mecânica do Solo. In: JONG VAN LIER, Q. de., ed. Física do Solo. 1. ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v1. 298 p, 2010.

RESENDE, M. & SANTANA, D.P. Uso das relações K_i e K_r na estimativa da mineralogia para a classificação dos Latossolos. In: Reunião de classificação, correlação de solos e interpretação de aptidão agrícola, 3., Rio de Janeiro, 1988. Anais. Rio de Janeiro, Embrapa – SNLCS, SBCS, p.225- 232, 1988.

RESENDE, M. L. F.; GUIMARÃES, L. L. Inventários da Biodiversidade do Bioma Cerrado: Biogeografia de Plantas. Rio de Janeiro (IBGE), 2007.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. Pedologia: base para distinção de ambientes. 5. Ed. Lavras: UFLA, 322p, 2007.

RESENDE, M.; CURI, N.; DE RESENDE, S. B.; CORRÊA, G. F.; KER, J. C. Pedologia – Base para Distinção de Ambientes. Lavras: Editora UFLA, 378p, 2014.

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*, p.131– 146, 2002.

ROLIM NETO, F. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; CORRÊA, M. M.; COSTA, L. M.; PARAHYBA, R. B. V.; GUERRA, S. M. S.; HECK, R. Topolitossequências de solos do Alto Paranaíba: atributos físicos, químicos e mineralógicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p.1795-1809, 2009.

ROSOLEM, C. A.; FERNANDEZ, E. M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C. A. C. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.34, n.5, p.821-828, 1999.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.25-32.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; DIAS JÚNIOR, M. S. Índice de desagregação do solo baseado em energia ultra-sônica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n. 3, p. 525-531, jul./set. 1999.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; MELLO, C. R. Nível de energia ultra-sônica para o estudo da estabilidade de agregados de um Latossolo sob diferentes usos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 11, p. 1649-1655, 2002.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M. Energia ultra-sônica: uma ferramenta em ciência do solo. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005.

SANTOS, M. A.; BARBIERI, A. F.; MACHADO, C. J.; CARVALHO, J. A. M. Programa de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba: O Marco Inicial do Processo de Ocupação do Cerrado Brasileiro. *Revista Brasileira de Educação e Cultura – ISSN 2237-3098*. 2013.

SATO, M. K.; DE LIMA, H. V.; DE OLIVEIRA, P. D.; RODRIGUES, S. Critical soil bulk density for soybean growth in Oxisols. *International Agrophysics*, v. 29, p. 441-447, 2015.

SCHMIDT, M.W.I.; RUMPEL, C.; KOÈGEL-KNABNER, I. Evaluation of an ultrasonic dispersion procedure to isolate primary organomineral complexes from soils. *European Journal of Soil Science*, v.50, p. 87-94, 1999.

SEVERIANO, E. C. Alterações estruturais de Latossolos representativos da região do Cerrado e potencial de uso de solos cultivados com cana-de-açúcar. Universidade Federal de Lavras, 2010. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Lavras: UFLA, 2010. 134p.

SEVERIANO, E. C.; DE OLIVEIRA, G. C DIAS JÚNIOR, M. S.; COSTA, K. A. P.; BENITES, V. M.; FERREIRA FILHO, S. M. Structural changes in Latosols of the cerrado region: II - soil compressive behavior and modeling of additional compaction. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, n.3, 2011.

SILVA, M. L. N.; BLANCANEUX, P.; CURTI, N.; DE LIMA, J. M.; MARQUES, J. J. G. S. M.; DE CARVALHO, A. M. Estabilidade e resistência de agregados de Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com sucessão milho-adubo verde. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.33, n.1, p.97-103, 1998.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-escuro e de um Podzólico Vermelho-amarelo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v24, p. 239-249, 2000a.

SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.12, 2000b.

SILVA, V.L.; DIECKOW, J.; MELLEK, J.E.; MOLIN, R.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F.M. Melhoria da estrutura de um Latossolo por sistemas

de culturas em plantio direto nos Campos Gerais do Paraná. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, MG, v.36, n.3, 2012.

SOUSA, D. M. G; LOBATO, E. Latossolos. Disponível em: <www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/arvore/AG01_96_10112005101956.html>. Acesso em: janeiro de 2016.

SPERA, S. T.; DENARDIN, J. E.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; DOS SANTOS, H. P.; FIGUEROA, E. A. Dispersão de argila em microagregados de solo incubado com calcário. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p.2613-2620, 2008.

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; LIMA, C. L. R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.42, n.8, p.1159-1167, 2007.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; RIBON, A. A. Physical properties of Dystrophic red Latosol (oxisol) under different agricultural uses. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.34, p.925-933, 2010.

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

TORMENA, C.A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.22, p.573-581, 1998.

TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; DA COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, A. C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. Scientia Agricola, v.59, n.4, p.795-801, 2002.

VAN GENUCHTEN, M.T. A Closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:892-898, 1980.