

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**QUALIDADE FÍSICA PROMOVIDA POR MANEJOS DE SOLO E
ESPÉCIES NA RENOVAÇÃO DO CANAVIAL**

EBER AUGUSTO FERREIRA DO PRADO

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2015**

**QUALIDADE FÍSICA PROMOVIDA POR MANEJOS DE SOLO E
ESPÉCIES NA RENOVAÇÃO DO CANAVIAL**

EBER AUGUSTO FERREIRA DO PRADO
Engenheiro Agrônomo, M. Sc.

Orientador: PROF. DR. ANTONIO CARLOS TADEU VITORINO

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande
Dourados, como parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal,
para obtenção do título de Doutor.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

P896q Prado, Eber Augusto Ferreira do
Qualidade física promovida por manejos de solo
espécies na renovação do canavial / Eber Augusto Ferreira
do Prado -- Dourados: UFGD, 2015.

89f. il.

Orientador(a): Prof. Dr. Antônio Carlos Tadeu
Vitorino.

Tese (Doutorado em Agronomia) FCA, Faculdade de
Ciência Agrárias – Universidade Federal da Grande
Dourados.

1. Cana-de-açúcar. 2. Sistema de plantio direto. 3. Plantas
de coberturas. I. Título.

CDD – 633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte

QUALIDADE FÍSICA PROMOVIDA POR MANEJOS DE SOLO E ESPÉCIES NA RENOVAÇÃO DO CANAVIAL

Por

Eber Augusto Ferreira do Prado

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
DOUTOR EM AGRONOMIA

Aprovado em: 30/06/2015



Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino
Orientador – UFGD/FCA



Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez
UFGD/FCA



Prof. Dr. Munir Mauad
UFGD/FCA



Pesquisador Dr. Rodrigo Arroyo Garcia
EMBRAPA/CPAO



Dr. Anderson Cristian Bergamin
UNIR

DEDICO.

Em especial ao meu pai Ivan Zaninello do Prado, que sempre me incentivou a trilhar o caminho do estudo. A minha mãe Zene Ferreira do Prado, por sempre estar ao meu lado, as minhas irmãs Laís Carolina Ferreira do Prado e Leia Virginia Ferreira do Prado ao “manão” Ivan Gabriel Ferreira do Prado, a Carina Doffinger da Silva e a todos os demais integrantes da família Ferreira & Prado, que sempre estiveram ao meu lado durante toda minha trajetória, educando, ensinando e perseverando.

OFEREÇO.

A Deus. E ao meu orientador Antonio Carlos Tadeu Vitorino pelo meu crescimento profissional.

“... Agora, portanto, permanecem estas três coisas: a fé, a esperança e o amor. A maior delas, porém, é o amor.”

1 CORÍNTIOS 13

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pelos talentos recebidos e pela possibilidade de multiplicá-los.

Em especial ao meu orientador Professor Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino, pela confiança e oportunidade de trabalharmos juntos, obrigado por sua orientação.

Agradeço em especial ao pesquisador da EMBRAPA-AGROPECUÁRIA OESTE - MS Dr. Rodrigo Arroyo Garcia pela sua imensa contribuição, desde os materiais utilizados em campo, bem como sua disponibilidade em nos atender nos momentos de dúvidas.

Ao professor Anderson Cristian Bergamin, pelo apoio nos momentos de dúvidas e pela disponibilidade dedicada. Agradeço também aos professores André Luiz Duarte Goneli, Munir Mauad e Jorge Wilson Cortez.

Agradeço em especial aos técnicos de laboratório, Nilda Tiyoko Kobayashi Hoffman, Laura Priscila Todelo Bernal, João Augusto Machado da Silva e Deuzelino Marques da Silva, que muito tiveram a paciência de me ajudar nas análises de laboratório.

O meu muito obrigado a toda equipe da usina São Fernando que gentilmente concederam a área do experimento.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFGD, pela oportunidade, e a secretária Maria Lucia Teles pela atenção e paciência.

A CAPES, pela bolsa concedida.

Agradeço também a todos os professores da Universidade Federal da Grande Dourados por todo aprendizado que me foi proporcionado desde os tempos de graduação. Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFGD, pelo aprimoramento no conhecimento.

A minha namorada Carina Doffinger da Silva que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos de trabalho.

Ao amigo Leandro Bassi Moreno companheiro de terrere. Aos amigos de doutorado e mestrado Leandro Ramão Paim, Douglas Martins Pellin, Bruno Agostini, Heverton Ponce Arantes e Antonio Higinio Frederico Pereira.

A todos os familiares, próximos ou distantes que, sempre contribuíram para que essa vitória fosse alcançada.

SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO GERAL	Vii
1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
3 ARTIGO 1	5
QUALIDADE ESTRUTURAL DE LATOSSOLO SOB REVOLVIMENTO E CULTURAS ANTECESSORAS NA RENOVAÇÃO DO CANAVIAL	
3.1 Resumo	5
3.2 Abstract	6
3.3 Introdução	7
3.4 Material e métodos	10
3.5 Resultados e discussões	14
3.6 Conclusões	31
3.7 Referências bibliográficas	32
4 ARTIGO 2	37
QUALIDADE FÍSICO-HÍDRICA DE UM LATOSSOLO SOB SEMEADURA DIRETA DE CULTURAS PARA A RENOVAÇÃO DO CANAVIAL	
4.1 Resumo	37
4.2 Abstract	38
4.3 Introdução	39
4.4 Material e métodos	42
4.5 Resultados e discussões	46
4.6 Conclusões	63
4.7 Referências bibliográficas	64
5 ARTIGO 3	70
ATRIBUTOS FÍSICOS EM FUNÇÃO DOS MANEJOS DE SOLO E USO DE CULTURAS NA RENOVAÇÃO DO CANAVIAL	
5.1 Resumo	70
5.2 Abstract	71
5.3 Introdução	72
5.4 Material e métodos	74
5.5 Resultados e discussões	77

5.6 Conclusões.	86
5.7 Referências bibliográficas	87
6 CONSIDERAÇÕES GERAIS	89

**QUALIDADE FÍSICA PROMOVIDA POR MANEJOS DE SOLO E
ESPÉCIES NA RENOVAÇÃO DO CANAVIAL**

RESUMO GERAL

A redução dos valores de densidade do solo e da resistência do solo à penetração e o aumento da macroporosidade, volume total de poros, retenção e infiltração de água no solo favorecem a qualidade física do solo. O cultivo de diferentes espécies na renovação de canavial, antecedendo ao novo cultivo pode, pode proporcionar benefícios ao solo. Objetivou-se avaliar o intervalo hídrico ótimo (IHO) como indicador de qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso cultivado em sistemas de manejo, com culturas alternativas na renovação de canavial, e propor modelos de capacidade de suporte de carga (CSC). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, no esquema de faixas. Os cultivos foram com: *Crotalária Juncea*; *Crotalária Ochroleuca*; Girassol; Pousio; Soja e Sorgo sacarino. Contendo dois sistemas de manejo, um com revolvimento do solo e o outro apenas com semeadura direta, duas profundidades, seis tratamentos e cinco repetições. Após o ciclo vegetativo das culturas na reforma do canavial, foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada, nas profundidades de 0,15 e 0,25 m. As culturas alteraram os atributos físicos do solo, nas duas profundidades avaliadas. De maneira geral, a aeração foi o fator mais limitante ao adequado crescimento das plantas nas duas profundidades. Analisando o intervalo hídrico ótimo em cada rotação de culturas, nas profundidades de 0,15 e 0,25 m, observou-se que a menor qualidade estrutural do solo foi proporcionada pela cultura do sorgo. O intervalo hídrico ótimo é um adequado indicador de alterações da estrutura do Latossolo Vermelho distroférico ocasionadas pelas espécies e manejos de solo. Pode-se observar que as maiores CSC do solo nas profundidades de 0,15 e 0,30 m foram encontradas no tratamento com sorgo ao longo de todo o intervalo de umidade. As magnitudes das pressões de preconsolidação entre as rotações de culturas alternativas no momento da renovação do canavial aumentam a medida que a umidade volumétrica do solo é reduzida e a densidade do solo é aumentada.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar, sistema plantio direto, plantas de coberturas.

QUALITY PHYSICAL PROMOTED IN SOIL AND SPECIES MANAGEMENTS IN THE RENEWAL OF CANE FIELD

GENERAL ABSTRACT

The reduction of the bulk density and soil resistance to penetration and the increased macroporosity, total porosity, water retention and infiltration into the soil favor the physical quality of the soil. The cultivation of different species in the renewal of sugarcane fields, prior to the new crop can, can provide benefits to the soil. Aimed to evaluate the last limiting water range (IHO) as structural quality indicator of a Oxisol clayey dystrophic cultivated in management systems, with alternative crops in renewing sugarcane fields, and propose load-bearing capacity models (CSC). The experimental design was a randomized block in the track diagram. Crops were with: *Crotalaria juncea*; Sunnhemp *Ochroleuca*; Sunflower; Fallow; Soybeans and sorghum. Containing two management systems, with soil disturbance and the other only with direct seeding, two depths, six treatments and five replications. After the growing season of crops in the reform of the plantation, soil samples were collected with preserved structure at depths of 0.15 and 0.25 m. Crops modified the soil physical properties at both depths evaluated. In general, the aeration was the most limiting factor to the proper growth of the plants at both depths. Analyzing the optimum water range in each crop rotation, the depths of 0.15 to 0.25 m, it was observed that the smallest structural soil quality was provided by sorghum. The least limiting water range is an appropriate indicator of changes in the structure of Haplorthox caused by species and soil management. It can be seen that the greater soil CSC depths of 0.15 to 0.30 m were found in sorghum treatment throughout the humidity range. The magnitudes of the preconsolidation pressures between the rotations of alternative crops at the time of sugarcane plantation renewal increase as volumetric soil moisture is reduced and the bulk density is increased.

Keywords: cane sugar, tillage system, roofing plants.

INTRODUÇÃO GERAL

Com os custos, da produção agrícola cada vez mais elevado, há necessidade de que a agricultura seja mais competitiva e sustentável. O Brasil se destaca mundialmente como o maior produtor de cana-de-açúcar, com uma produção de mais de 653 milhões de toneladas (UNICA, 2014). Produção esta que se apoia no aumento da área plantada com cana-de-açúcar. Já a produtividade média dos canaviais Brasileiros, por falta de investimentos apresenta declínio acentuado nos últimos cinco anos, caindo de 81 Mg ha⁻¹ na safra 2008/2009 para 72 Mg ha⁻¹ na safra 2014/2015 (CONAB, 2014).

Um dos principais fatores que podem causar a queda da produtividade dos canaviais é o manejo incorreto do solo, com práticas não conservacionistas, o que leva a degradação biológica, química e física do solo. A prática do preparo do solo pode ser considerada de baixa eficiência na conservação do solo, pois degrada a estrutura física do solo, quebrando os agregados maiores, que são os responsáveis pelo aumento da macroporosidade, que garantem uma maior aeração do solo e possibilita a formação de tubos capilares, estes responsáveis pela disponibilidade de ar para as plantas. Além de compactar o solo na camada entre 8 e 12 cm, por meio da deposição de partículas do tamanho de síltes, criando impedimento ao crescimento radicular das plantas.

O tráfego de máquinas no momento da colheita, juntamente com o excesso de umidade, aumenta a compactação e diminui a macroporosidade, ocorrendo o aumento da densidade do solo. Neste sentido há necessidade de se utilizar práticas conservacionistas, ou que minimizem os efeitos indesejados do uso inadequado do solo.

O sistema de semeadura direta é ideal para obtenção de resultados econômicos e ambientais satisfatórios por meio da conservação do solo e da água por preconizar um conjunto de práticas conservacionista no sentido da manutenção e recuperação das condições físicas, químicas e biológicas do solo (GARCIA, 2010).

Uma das práticas conservacionistas que os produtores de cana-de-açúcar podem lançar mão para melhoria da qualidade do solo é a utilização de culturas alternativas no momento da renovação do canavial. Existem inúmeras culturas potencialmente indicadas na renovação do canavial, como as culturas da soja, girassol, sorgo sacarino e crotalárias (SEGATO et al., 2007; LIMA FILHO et al., 2014).

Segundo Wutke e Arévalo (2006), o uso da adubação verde melhora a preservação e a restauração das áreas cultivadas, além de promover melhorias nos

atributos biológicos, químicos e físicos do solo. Em áreas de canaviais a adição de compostos orgânicos ao solo eleva o teor de matéria orgânica, aumenta a quantidade de macronutrientes como, potássio, fósforo e cálcio, além de aumentar a macroporosidade e diminuir a densidade do solo (PRADO et al., 2013). O que vem de acordo com Calegari (2004) e Carvalho et al. (2004) afirmam que as adições de resíduos vegetais fornecem ao solo macro e micronutrientes que se tornam disponíveis para as culturas subsequentes após mineralização. Neste contexto, as culturas potencialmente renovadoras de canavial proporcionam por conta de seu sistema radicular com crescimento vigoroso e volumoso, aliado a produção de material vegetal, melhoria na qualidade física do solo.

Em condições que essa melhoria promovida pelas culturas de renovação são satisfatoriamente conseguidas, as operações mecânicas para revolvimento do solo com objetivo de descompactação não seriam necessárias, o que mantém as características da semeadura direta. Para Almeida (2008), o não revolvimento do solo, aliado à adição de C orgânico por meio do cultivo de adubos verdes, e a manutenção dos resíduos em superfície favorecem a liberação de compostos orgânicos que estimulam a formação e a estabilidade de agregados. Outro benefício importante também é relatado por Garcia (2010), que aponta para o fato que após a decomposição das raízes ocorre a formação de bioporos favorecendo a translocação de água, ar e nutrientes.

No geral, podem ser utilizadas as mais diversas leguminosas na renovação do canavial, devendo ser considerados sobretudo o preço e a qualidade das sementes, a facilidade de sua obtenção e a produção de massa. Especificamente na região Centro-Sul do Brasil, as espécies mais utilizadas como adubo verde, na reforma do canavial, são a *crotalaria júncea*, mucuna preta (*M. aterrima*), feijão guandu (*Cajanus cajan*), labe labe (*Lab lab purpureus*) e a *crotalaria spectabilis* (CARVALHO e AMABILE, 2006).

Vários fatores das culturas que devem ser conhecidos, são apontados como causais da variabilidade das culturas, teor de água no solo, variedade utilizada, pragas, doenças, sistemas de preparo, compactação, pH, manejo de herbicidas, condições subsuperficiais do solo, manejo de fertilizantes e fertilidade do solo (SEGATO et al., 2007). Neste sentido o planejamento da produção agrícola e a utilização de culturas alternativas podem ser uma prática versátil e de ampla aplicação, possibilitando um aproveitamento adequado das áreas sob reforma de canavial. Além disso, devem ser avaliadas pelos resultados obtidos a médio e longo prazo, com base no seu uso periódico e racional, esperando obter efeitos benéficos devidos à cobertura vegetal produzida (WUTKE e ARÉVALO, 2006).

Com o envelhecimento dos canaviais brasileiros houve queda acentuada da produtividade da cana-de-açúcar. O setor sucroenergético com uma política de expansão aumentou as áreas de novos plantios de cana, deixando de lado a reforma dos canaviais pré-existentes. Para diminuir o déficit de reformas, uma das alternativas economicamente viável e sustentável de rápido resultado é a reforma dos canaviais com a utilização de culturas potencialmente renovadoras alternada com a cana-de-açúcar. Essas culturas aumentam a fertilidade do solo, produzem fitomassa para a cobertura do solo, além de possuírem sistema radicular vigoroso que podem romper camadas compactadas e aumentar a agregação do solo, diminuindo as operações mecânicas. A alternância com culturas no momento da renovação dos canaviais, aliado a índices de qualidade física do solo como, intervalo hídrico ótimo e capacidade de suporte de carga, podem auxiliar nas tomadas de decisões do melhor manejo a se utilizar na reforma.

Neste contexto objetivou-se avaliar os atributos físicos do solo em função do manejo do solo e culturas alternativas na renovação do canavial, por meio do IHO. Além de, desenvolver, modelos de CSC em função da pressão de preconsolidação e da umidade volumétrica do solo, para cada cultura antecessoras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, V. P.; ALVES, M. C.; SILVA, E. C.; OLIVEIRA, S. A. O. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em latossolo vermelho de cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1227-1237, 2008.

CALEGARI, A. Alternativa de rotação de culturas para plantio direto. **Revista Plantio Direto**, v.80, p.62-70, 2004.

CARVALHO, A. M.; AMABILE, R. F. (Ed.). **Cerrado: adubação verde**. Planaltina: Embrapa cerrados, 2006. 369p.

CONAB. **Acompanhamento da safra Brasileira**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_08_30_13_41_19_boletim_na_portugues_-_agosto_2011_2o_lev..pdf. Acesso em: 11 nov. 2015.

UNICA. **Histórico de produção e moagem: Cana-de-açúcar 2013/2014**. Disponível em: <http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=31&tipoHistorico=2&acao=visualizar&idTabela=1611&produto=cana&safraIni=2013%2F2014&safraFim=2013%2F2014&estado=RS%2CSC%2CPR%2CSP%2CRJ%2CMG%2CES%2CMS%2CMT%2CGO%2CDF%2CBA%2CSE%2CAL%2CPE%2CPB%2CRN%2CCE%2CPI%2CMA%2CTO%2CPA%2CAP%2CRO%2CAM%2CAC%2CRR.>> Acesso em: 07/06/2015.

GARCIA, R. A. **Rotação de culturas e propriedades físicas e matéria orgânica de um latossolo**. 2010. 146f. Tese (Doutorado em agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu - SP.

LIMA FILHO, O. S.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e práticas**. Brasília: Embrapa, 2014. 507p.

PRADO, E. A. F.; VITORINO, A. C. T.; OLIVEIRA, W. H.; ESPINDOLA, D. L. P.; ARANTES, H. P. Índice de dispersão de agregados de um Latossolo Vermelho distroférico cultivado com cana sob aplicação de vinhaça. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, suplemento 1, p.2347-2356, 2014.

SEGATO, S. V.; FERNANDES, C.; PINTO, A. S. **Expansão e renovação de canavial**. Piracicaba: CP 2, 2007. 325p.

WUTKE, E. B.; ARÉVALO, R. A. **Adubação verde com leguminosas no rendimento da cana-de-açúcar e no manejo de plantas infestantes**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2006. 28p. (Boletim Técnico IAC, 198).

ARTIGO 1

QUALIDADE ESTRUTURAL DE LATOSSOLO SOB REVOLVIMENTO E CULTURAS ANTECESSORAS NA RENOVAÇÃO DO CANAVIAL

RESUMO

O preparo do solo visa a uniformização com a total incorporação dos restos culturais, com a utilização de equipamentos pesados, o que altera a estrutura do solo de forma substancial. A realização de alternância com culturas no momento da renovação do canavial, pode melhorar a qualidade física do solo, por meio dos seus vigorosos sistemas radiculares. Para tanto prioriza-se o uso de espécies que possuam vigorosos sistemas radiculares por produzirem grande quantidade de massa seca. Objetivou-se avaliar a qualidade estrutural do solo após a utilização de culturas alternativas, em sistema de preparo do solo, na renovação da cana-de-açúcar. O estudo foi realizado em área comercial da usina São Fernando, no ano agrícola de 2012/2013, em um Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso. O delineamento experimental foi em blocos, em esquema de faixas, com seis tratamentos e com cinco repetições. Foram avaliadas duas profundidades, 0,15 e 0,25 m. As culturas alternativas foram: *Crotalária Juncea*; *Crotalária Ochroleuca*; Girassol; Pousio; Soja e Sorgo sacarino. Após o ciclo vegetativo das culturas potencialmente renovadoras de canavial, foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada em cilindros metálicos, nas profundidades de estudo. O cultivo de *Crotalária juncea* aumentou o intervalo hídrico ótimo e reduziu a capacidade de suporte de carga do solo. Os maiores valores de densidade crítica foram obtidos com o cultivo da *Crotalária juncea*. A porosidade de aeração é o principal atributo físico que limitou o intervalo hídrico ótimo. O cultivo do sorgo no sistema de preparo do solo apresentou as maiores capacidades de suporte de carga representando a menor qualidade estrutural do solo.

Palavras-chave: pressão de preconsoidação, compressibilidade, compactação do solo.

STRUCTURAL QUALITY OF LATOSOL UNDER CONVENTIONAL TILLAGE WITH ALTERNATIVE CROPS FOR RENEWAL OF CANEBRAKE

ABSTRACT

The conventional tillage aims at uniformity of soil with the full incorporation of crop residues with the use of heavy equipment, which changes the soil structure substantially. The realization of the rotation with crops at the time of renewal of sugarcane fields, can improve the physical quality of the soil, through their vigorous root systems. Therefore it prioritizes the use of species that have strong root systems and produce large amount of dry matter. The objective of this study was to evaluate the structural quality of the soil after use of alternative crops in conventional tillage, in crop rotation with sugarcane at the time of renewal of sugarcane, through limiting water range and curve load bearing capacity. The study was conducted in the San Fernando plant area in Dourados - MS, in the agricultural year 2012/2013. The soil in the experimental area was classified as Oxisol clayey dystrophic. The experiment was arranged in tracks, with a randomized block design, with conventional tillage, with 6 treatments evaluated in two depths 0.15 and 0.25 m with 5 repetitions. The treatments were: *Crotalaria juncea*; Sunnhemp *Ochroleuca*; BRS Sunflower 321; Fallow; SOJA BMX Turbo and sorghum BRS 506. After the growing season of potentially renewing sugarcane crop, soil samples were collected with structure preserved in metal cylinders, study depths. The *Crotalaria juncea* cultivation favors the highest values of the least limiting water range and the lowest values of soil load bearing capacity in conventional tillage. The largest of critical density values were obtained with the cultivation of *Crotalaria juncea*. The aeration porosity is the main physical attribute that limited the least limiting water range. The cultivation of sorghum in conventional tillage system had the highest load-bearing capacities representing the worst structural soil quality.

Keywords: preconsolidation pressure, compressibility, soil compaction.

INTRODUÇÃO

Os sistemas intensivos de preparo do solo, que podem ser genericamente denominados de preparo convencional, tiveram como objetivo inicial a incorporação de restos de vegetação, incorporação de corretivos e fertilizantes ao solo (COSTA et al., 2006).

A utilização de sistemas intensivos de preparo do solo, preconiza o revolvimento do solo, alterando completamente sua estrutura física. A qualidade física dos solos agrícolas é afetada pelo sistema de manejo, sendo a magnitude das alterações dependente do uso do solo (COSTA et al., 2003).

Já em áreas canavieiras, a compactação tem ocorrido em virtude das operações de manejo que envolvem o tráfego de máquinas em conteúdos inadequados de água no solo (SEVERIANO et al., 2008). Para uma determinada condição estrutural, a umidade do solo é o principal fator que estabelecerá o momento em que os atributos do solo se tornam limitantes às plantas, sendo isso dependente das condições climáticas ocorridas no período e do manejo empregado no uso do solo (KAISER et al., 2009).

Os cultivos comerciais de cana-de-açúcar podem permitir de 3 até 6 cortes, após esse período, pode-se optar pela renovação imediata do canavial, ou fazer um sistema de rotação com outras culturas. Optando pela rotação, no momento da renovação de primavera/verão pode-se utilizar o cultivo de outras culturas renovadoras logo após o último corte da cana. Esse sistema pode vir a ser uma alternativa para as usinas do centro-sul, visto que a safra de cana-de-açúcar nesta região tem apresentado quedas significativas de rendimentos com a idade dos canaviais. Essa prática pode promover melhorias da qualidade física do solo.

Do ponto de vista físico, Lima et al. (2012) também destacam a importância do uso de plantas que contribuem para a melhoria da estrutura do solo, como técnica de manejo para proporcionar a formação de bioporos com ampla variação de tamanho. Aliviando os processos de compactação do solo, pelas mudanças quantitativas e qualitativas na formação de macroporos, o que reflete em aumento do crescimento e produtividade das culturas (LIMA et al., 2012). De maneira semelhante, Abreu et al. (2004) em sua pesquisa destacam a importância da formação de bioporos, que pode ser aumentada com o uso de plantas de cobertura com sistema radicular capaz de romper camadas compactadas e formar novos poros, contínuos e estáveis, que serão explorados pela cultura subsequente.

Os poros formados pelas culturas anteriores permitem que as raízes das próximas culturas cresçam por estes espaços, mesmo em solos com alta resistência a penetração. Ou seja, com a utilização de plantas de coberturas, e com revolvimento do solo, ocorrem a formação de bioporos, que são formados após a morte das raízes das plantas de coberturas. O que constitui em uma alternativa para melhoria da estrutura do solo e controle da compactação superficial (SEVERIANO et al., 2010a).

Bergamin et al. (2010a) relataram que existe grande dificuldade ao avaliar em campo a compactação do solo causada pelos manejos. No entanto os mesmos autores salientam que é necessário conhecer os estados de compactação que reduzem o crescimento do sistema radicular das plantas, visando o uso do solo de forma eficiente e sustentável. O que está de acordo com Gontijo et al. (2007) que afirmaram que existe a necessidade de se conhecer os efeitos da compactação do solo.

Neste sentido a disponibilidade de água às plantas é alterada pela compactação do solo e outras variáveis, o Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) integra variáveis físicas do solo que alteram o crescimento radicular e a disponibilidade de água e pode ser manejado por métodos mecânicos ou biológicos (CALONEGO et al., 2011).

Neste contexto, destacam-se como indicadores de qualidade estrutural o IHO o qual integra atributos físico-hídricos do solo que alteram o crescimento radicular e a disponibilidade de água (CALONEGO et al., 2011). Sendo utilizado por diversos autores com essa finalidade (Bergamin 2012; Garbiate 2013; Pereira 2014 e Arantes 2015) e a pressão de preconsolidação, que pode ser definida como, a maior pressão que o solo já suportou no passado e é uma medida da capacidade de suporte de carga do solo (DIAS JUNIOR e PIERCE, 1996). A pressão de preconsolidação vem sendo usada por diversos autores como indicador da sustentabilidade da estrutura do solo em conteúdo de água predeterminados (KONDO e DIAS JUNIOR, 1999; IMHOFF et al., 2001; SILVA et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2003; DIAS JUNIOR et al., 2005; GONTIJO et al., 2007; BERGAMIN et al., 2010b; PEREIRA, 2014).

A utilização dos indicadores de qualidade física do solo aliados a sistemas de manejo, com rotação de culturas no momento da renovação do canavial é de grande importância para o setor sucroenergético, uma vez que pouco se conhece sobre a influência das culturas antecessoras no intervalo hídrico ótimo e capacidade de suporte de carga do solo, o que torna o seu conhecimento fundamental para o correto manejo do sistema.

Neste sentido muito ainda se tem a explorar uma vez que a produtividade média nacional de cana-de-açúcar tem caído nos últimos anos, com consequência do envelhecimento dos canaviais. Neste contexto a renovação dos canaviais é a alternativa aos produtores, podendo o produtor optar pela utilização de diferentes plantas com ciclo curto para renovação de canaviais. As vantagens da utilização de culturas antecessoras à nova implantação do canavial são variadas destacando-se, economia na reforma do canavial, manutenção da cobertura vegetal, conservação do solo, rompimento da camada compactada e aumento da agregação do solo, através do sistema radicular das culturas, fixação de nitrogênio e consequentemente melhoria da qualidade biológica, química e física do solo.

Objetivou-se avaliar a qualidade estrutural do solo sob preparo do solo após a utilização de culturas antecessoras, no momento da renovação do canavial, por meio do intervalo hídrico ótimo e curva de capacidade de suporte de carga.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área da Usina São Fernando no município de Dourados - MS, no ano agrícola de 2012/2013. O local situa-se em latitude de 22°24'58"S, longitude de 55°05'30"W e altitude de 410 m. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen. A região apresenta precipitação pluvial média anual de 1.400 mm e as temperaturas médias anuais variam de 18°C e 25°C nos meses mais frio e mais quente, respectivamente. O solo na área do experimento foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico, cuja textura, determinada pelo método da pipeta (DONAGEMA et al., 2011) foi 601 g kg⁻¹ de argila, 219 g kg⁻¹ de silte e 180 g kg⁻¹ de areia.

Após colheita da cana de sexto corte procedeu-se o preparo mecânico do solo, realizando-se duas gradagens aradora com discos de 34" recortados, duas subsolagens com subsolador canavieiro à profundidade de 0,45 m e duas gradagens leve, com niveladora de discos com 28". Neste processo foram incorporados 17 Mg ha⁻¹ de palha residual dos cultivos anteriores de cana-de-açúcar.

O experimento foi disposto em faixas, com delineamento em blocos casualizados, com preparo do solo, com seis tratamentos avaliados em duas profundidades 0,15 e 0,25 m e com cinco repetições. As parcelas para cada tratamento tinham 18 m de largura por 20 m de comprimento, totalizando 360 m². As culturas antecessoras foram: *Crotalaria Juncea*; *Crotalaria Ochroleuca*; Girassol; Pousio; Soja e Sorgo sacarino.

A implantação do experimento ocorreu com a colheita do último corte da cana-de-açúcar (*Saccharum ssp*) em outubro de 2012 e conseqüentemente com a semeadura das culturas para a renovação do canavial. Antes da semeadura da soja as sementes foram tratadas com CARBOXINA + TIRAM na dose 100 ml para cada 50 kg de sementes e inoculadas com INOCULANTE TURFOSO para soja na dose de 80 g por saco de 60 kg de semente. Também foi utilizado no momento da semeadura a adubação com 250 kg ha⁻¹ da formula 08-20-20 mais 2% de Ca, 6% de S e 0,3% de Zn. Foi utilizado uma semeadora-adubadora para preparo do solo, com sete linhas, espaçadas entre si de 0,45 m, semeando 16 sementes por metro para obtenção de uma densidade de 12 plantas por metro. Para semeadura do sorgo sacarino BRS 506 e do girassol BRS 321 foi utilizada uma semeadora-adubadora de preparo convencional, com quatro linhas, espaçadas de 0,90 m, utilizando-se 10 e 5 kg ha⁻¹ de semente respectivamente. Para a *crotalaria juncea* foram utilizados 25 kg ha⁻¹ de sementes com espaçamento de 0,45 m entre linhas. Já para

a *crotalária ochroleuca* utilizou-se 10 kg ha⁻¹ de sementes com espaçamento de 0,45 m entre linhas. Todos os tratamentos foram semeados no dia 28/11/2012, exceto o tratamento com girassol BRS 321 que foi semeado no dia 07/12/2012.

Após o ciclo vegetativos das culturas antecessoras se procedeu a colheita mecanizada da soja em 01/03/2013. As demais culturas foram manejadas com triturador de palhas para manejo dos restos culturais. Posterior ao manejo final das culturas se procedeu a coleta do solo com estrutura preservada em 11/04/2013.

A coleta das amostras foi realizada com estruturas preservadas em cilindros metálicos de 83 cm³, raio de 3,22 cm e 2,55 cm de altura, distante 5 cm da linha. Em cada parcela foram coletadas 7 amostras em cada profundidade, totalizando 70 amostras por tratamento (35 amostras em cada profundidade).

Posteriormente as amostras foram submetidas à saturação por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingirem cerca de dois terços da altura do cilindro metálico para posterior estabilização do teor de água.

As 35 amostras de cada tratamento (de cada profundidade) foram divididas em 7 grupos de 5 amostras, sendo cada grupo submetido aos seguintes potenciais matriciais: -0,006; -0,01; -0,033; -0,066; -0,1; -0,3 e -1,5 MPa, utilizando mesa de tensão (-0,006 MPa) e câmara de Richards para os demais potenciais, conforme Klute (1986).

Quando as amostras atingiram o equilíbrio nos referidos potenciais, essas tiveram suas massas determinadas e logo em seguida encaminhadas para, a bancada para determinação da resistência do solo à penetração, utilizando um penetrógrafo eletrônico com velocidade constante de penetração de 1 cm min⁻¹, com diâmetro de base da haste de 4 mm e semiângulo de 30°, desenvolvido por Serafim et al. (2008a). Os valores obtidos nos 5 mm superiores e inferiores da amostra foram descartados, visando eliminar o efeito da periferia da amostra (BRADFORD, 1986).

As frequências de leituras de resistência do solo à penetração foram de um valor a cada 0,25 s, obtendo-se 600 leituras por amostra, sendo utilizado o valor médio.

O IHO foi determinado com base nos procedimentos descritos em Silva et al. (1994). Os valores críticos de umidade associados com o potencial matricial, resistência do solo à penetração e porosidade de aeração, representados, respectivamente, pelo teor de água na capacidade de campo (θ_{CC}), potencial de -0,01 MPa (REICHARDT, 1988); pelo teor de água no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), potencial de -1,5 MPa (SAVAGE et al., 1996); pelo teor de água volumétrico no solo em que a resistência do solo à penetração (θ_{RP}) atinge 2,0 MPa (TAYLOR et al., 1966); e pelo teor de água

volumétrico em que a porosidade de aeração (θ_{PA}) é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (GRABLE e SIEMER, 1968).

Para obter os valores de θ_{CC} e θ_{PMP} , utilizou-se o modelo matemático do tipo $[\theta = \exp(a+bDs)\Psi^c]$, proposto por Silva et al. (1994), para ajuste dos dados originais, o qual incorpora a variável densidade do solo na função empregada por Ross et al. (1991), em que θ é a umidade volumétrica do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); Ds é a densidade do solo (Mg m^{-3}); Ψ é o potencial matricial (MPa); e as letras “a”, “b” e “c” são os parâmetros empíricos de ajuste do modelo.

Os valores de RP de todas as amostras com θ e Ds conhecidas foram ajustados matematicamente, utilizando o modelo do tipo $[RP = d\theta^e Ds^f]$, proposto por Busscher (1990), em que RP é a resistência do solo à penetração (MPa); θ é a umidade volumétrica do solo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$); Ds é a densidade do solo (Mg m^{-3}); e as letras “d”, “e” e “f” são os parâmetros empíricos de ajuste do modelo. Por meio dessa equação foi possível determinar o valor crítico de θ para que a RP não ultrapassasse 2,0 MPa (θ_{RP}), em função da Ds . Para isso, substitui-se RP na equação pelo valor de 2,0 MPa, considerado como limitante para efeito de cálculo do IHO.

O valor de θ_{PA} foi obtido aplicando o modelo do tipo $[\theta_{PA} = (1 - (Ds/Dp)) - 0,10]$, em que θ_{PA} é o teor de água volumétrico do solo em que a porosidade de aeração é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$; Ds é a densidade do solo (Mg m^{-3}); Dp é a densidade de partículas (Mg m^{-3}), sendo adotado o valor de $2,65 \text{ Mg m}^{-3}$ como média da densidade de partículas.

Na determinação dos limites superiores do IHO, considerou-se o θ_{CC} , ou aquele em que a θ_{PA} é considerada adequada ao crescimento e desenvolvimento da cultura. Como limites inferiores foram considerados o θ_{PMP} ou aquele correspondente à θ_{RP} limitante ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Após o cálculo dos limites superiores e inferiores do IHO, determinou-se a densidade crítica do solo (D_{sc}), que é a densidade do solo em que o IHO se iguala a zero, ou seja, quando o limite superior do IHO equivale numericamente ao limite inferior (SILVA et al., 1994).

Os ajustes dos modelos matemáticos e obtenção dos parâmetros “a”, “b”, “c”, “d”, “e” e “f”, foram realizados pelo método de regressão não linear, por meio do programa computacional Statistica 7.0 (STATSOFT, 2007).

As curvas ajustadas de retenção de água apresentaram coeficientes de determinação (R^2) que foram submetidos ao teste F de acordo com Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012).

Após a determinação da resistência à penetração, as amostras foram levadas para o consolidômetro automático, modelo CNTA-IHM/BR-001/07, para o ensaio de compressão uniaxial de acordo com Bowles (1986) e modificado por Dias Junior (1994). As pressões crescentes aplicadas a cada amostra foram: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa, sendo cada uma aplicada até que 90 % da deformação máxima fosse alcançada (Taylor, 1948). Após cada ensaio de compressão uniaxial, as amostras foram levadas à estufa a 105-110 °C por 48 h, para determinar o conteúdo de água, a densidade e a microporosidade do solo pelo método do anel volumétrico, conforme Donagema (2011).

A curva de compressão do solo foi obtida utilizando-se o método não linear proposto por Dias Junior e Pierce (1995). Apesar da carência de aplicação do referido modelo em dados de pressão de preconsolidação em função da Densidade e Umidade, a sua utilização baseia-se na forte relação entre σ_p e R_p indicando comportamento físico semelhante das duas variáveis (SEVERIANO et al., 2010b).

A seguir, as capacidades de suporte de carga (σ_p) com os valores de conteúdo de água (θ) foram ajustadas uma regressão exponencial decrescente do tipo [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$], proposto por Dias Junior (1994), determinando-se os modelos de capacidade de suporte de carga do solo (CSC). As letras “a” e “b” representam os coeficientes empíricos de ajuste do modelo, ou seja, o coeficiente linear e angular, respectivamente.

As comparações entre os modelos foram feitas utilizando o teste de homogeneidade de modelos lineares descrito em Snedecor e Cochran (1989). Para obtenção dos modelos lineares a partir do modelo exponencial [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$], aplicou-se o logaritmo nos valores de pressão de preconsolidação, resultando em uma equação do tipo $\log \sigma_p = a + b\theta$. O teste de homogeneidade de modelos lineares considera dois modelos, e estes são comparados pela análise do intercepto “a”, do coeficiente angular “b” e homogeneidade dos dados (F).

As curvas ajustadas de capacidade de suporte de cargas apresentaram coeficientes de determinação (R^2) que foram submetidos ao teste F de acordo com Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve redução da densidade do solo (Ds) e aumento da macroporosidade (Macro) com a utilização das culturas antecessoras na renovação de canavial, nas duas profundidades estudadas, com preparo de solo, no momento da renovação do canavial (Quadro 1).

QUADRO 1. Resumo da análise de variância e valores médios de densidade (Ds) e macroporosidade (Macro), nas profundidades de 0,15 e 0,25 m, de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido ao preparo de solo, no momento da renovação do canavial em rotação com culturas alternativas.

Tratamentos	0,15 m		0,25 m	
	Ds (Mg m ⁻³)	Macro (m ³ m ⁻³)	Ds (Mg m ⁻³)	Macro (m ³ m ⁻³)
<i>Crotalaria Ochroleuca</i>	1,34 bc	0,11 b	1,35 b	0,11 b
<i>Crotalaria Juncea</i>	1,33 c	0,12 a	1,26 c	0,14 a
Girassol	1,37 ab	0,08 c	1,48 a	0,07 d
Pousio	1,38 a	0,08 c	1,51 a	0,05 d
Soja	1,34 bc	0,11 ab	1,49 a	0,07 cd
Sorgo	1,36 abc	0,10 b	1,37 b	0,10 bc
F	6,63**	35,38**	182,70**	31,58**
CV1%	1,20	6,24	1,15	13,22

Médias na coluna, seguidas de mesma letra, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A determinação da massa seca dos cultivos é importante pois, a matéria orgânica em sistemas agrícolas altera diversos atributos físicos do solo, dentre eles a densidade e macroporosidade. Neste sentido o solo da área experimental após seis anos de cultivo com cana-de-açúcar, e no momento da implantação dos tratamentos sobre preparo do solo continha 17 Mg ha⁻¹ de massa seca incorporados ao solo proveniente da cultura da cana. Material este que somado ao material vegetal proveniente das culturas antecessoras, diminuiriam a densidade do solo. Houve redução da densidade do solo por esta ser expressa pela razão massa sobre volume, neste sentido o material orgânico quando misturado ao solo por ser mais leve que as partículas minerais do solo, diminuem a massa do solo para um dado volume. Com a alteração da densidade a estrutura do solo proveniente principalmente da formação de agregados estáveis a partir da floculação da argila e estabilização pelo incremento de material vegetal, pode aumentar a macroporosidade.

Lima Filho et al. (2014) afirmam que a matéria orgânica está associada com a formação e manutenção da estrutura dos solos, com efeitos sobre a densidade do solo, estabilidade de agregados, com aumento da percolação de água e na capacidade de armazenamento de água no solo. Neste contexto fica evidente a importância dos compostos orgânicos nos estudos de intervalo hídrico ótimo e pressão de preconsolidação.

Os tratamentos com girassol, pousio e sorgo apresentaram as maiores densidades na profundidade de 0,15 m, sendo estatisticamente iguais. O que demonstra a baixa eficiência do girassol em alterar a densidade do solo nesta profundidade. Nos demais tratamentos na profundidade de 0,15 m pode-se visualizar menores valores de densidade. Sendo que as culturas com *Crotalária Ochroleuca*, *Crotalária Juncea*, soja e sorgo apresentaram valores médios de densidade de $1,34 \text{ Mg m}^{-3}$, sendo estatisticamente iguais e diferindo dos tratamentos com girassol e pousio. Resultados semelhantes foram encontrados por Cunha et al. (2011) que obtiveram valores de 1,31 e $1,33 \text{ Mg m}^{-3}$ para crotalárias e sorgo respectivamente, em Latossolo Vermelho sob preparo de solo. Para a profundidade de 0,25 m houve maior heterogeneidade entre os valores de densidade. O pousio, soja e sorgo apresentaram as maiores densidades entre os tratamentos, com valores entre 1,48 a $1,51 \text{ Mg m}^{-3}$, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Ao trabalhar com diferentes plantas de coberturas e avaliando alguns atributos do solo Moreira et al. (2009) obtiveram em pousio resultados semelhantes com densidade média de $1,47 \text{ Mg m}^{-3}$ em Latossolo Vermelho sob sistema de preparo do solo. As culturas soja e girassol foram estatisticamente iguais. A *Crotalária Ochroleuca* e o sorgo foram estatisticamente iguais apresentando valores intermediários de densidades. Na profundidade de 0,25 m o valor da densidade com *Crotalária Juncea* foi a menor entre os tratamentos com valor de $1,26 \text{ Mg m}^{-3}$, sendo a cultura mais eficiente na redução da densidade. Pode-se verificar através dos resultados a eficiência da *crotalária Juncea* na melhoria da densidade do solo, mantendo o efeito da sistema de preparo do solo.

As menores macroporosidades na profundidade de 0,15 m foram encontradas nas culturas girassol e em pousio, apresentando valor de $0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. A *Crotalária Ochroleuca*, soja e sorgo apresentaram valores de macroporosidade estatisticamente iguais. O manejo com *Crotalária Juncea* e a soja foram as culturas que apresentaram as maiores macroporosidades, sendo diferente das demais culturas. Para a profundidade de 0,25 m a menor macroporosidade foi observado no tratamento em pousio, com valor de $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. E nas culturas com girassol e soja, com valores de $0,07 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, igualmente. A *Crotalária Ochroleuca* e sorgo foram estatisticamente iguais apresentando valores de 0,10 e $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente, valores estes que são iguais aos da profundidade de 0,15 m. A *Crotalária Juncea* apresentou a maior macroporosidade para profundidade de 0,25 m, com valor de $0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (Quadro 1).

Com a utilização da *Crotalária Juncea* foram encontrados os menores valores de densidade e os maiores valores de macroporosidade para as duas profundidades

estudadas. Estes resultados indicam que a introdução da *crotalária* como planta potencialmente renovadora de canaviais, por meio do seu crescimento radicular e produção de material vegetal pode melhorar a estrutura física dos solos sob sistema de preparo do solo (Quadro 1).

Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) das curvas de retenção de água (Quadros 2 e 3) e de resistência do solo à penetração (Quadros 4 e 5), apresentaram valores de F significativos a 1%.

QUADRO 2. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de retenção de água no solo [$\theta = \exp(a+bDs)\Psi^c$], com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0,15 m de um Latossolo Vermelho distroférrico, submetido ao preparo de solo, no momento da renovação do canavial com culturas antecessoras.

Coeficientes	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
<i>C. Euchroleuca</i>				<i>C. Juncea</i>		
a	-1,06770	-1,19824	-0,937161	-1,06857	-1,19589	-0,941258
b	0,05432	-0,04036	0,149008	0,05982	-0,02873	0,148367
c	-0,04078	-0,04677	-0,034786	-0,03916	-0,04470	-0,033610
R^2	0,86**			0,87**		
Girassol				Pousio		
a	-1,01185	-1,18335	-0,840337	-1,07415	-1,20252	-0,945771
b	0,02236	-0,09994	0,144652	0,08511	-0,00697	0,177176
c	-0,04552	-0,05104	-0,039999	-0,03961	-0,04405	-0,035173
R^2	0,90**			0,91**		
Soja				Sorgo		
a	-1,10042	-1,23406	-0,966794	-0,880633	-1,00546	-0,755811
b	0,09073	-0,00797	0,189435	-0,055322	-0,14549	0,034850
c	-0,04911	-0,05587	-0,042357	-0,040963	-0,04620	-0,035729
R^2	0,87**			0,89**		

θ : teor de água no solo ($m^3 m^{-3}$); Ds: densidade do solo ($Mg m^{-3}$); Ψ : potencial de água no solo (MPa); Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95%, respectivamente; ** significativo pelo teste "F" a 1%.

QUADRO 3. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de retenção de água no solo [$\theta = \exp(a+bDs)\Psi^c$], com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0,25 m de um Latossolo Vermelho distroférrico, submetido ao preparo de solo, no momento da renovação do canavial com culturas alternativas.

Coeficientes	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
<i>C. Ochroleuca</i>				<i>C. Juncea</i>		
a	-0,938572	-1,07017	-0,806975	-0,970093	-1,06856	-0,871631
b	0,000208	-0,09223	0,092647	0,018939	-0,04830	0,086178

c	-0,032642	-0,03632	-0,028967	-0,036800	-0,04041	-0,033187
R ²	0,91**			0,93**		
		Girassol			Pousio	
a	-1,37262	-1,64422	-1,10101	-0,923637	-1,02201	-0,825264
b	0,26949	0,08094	0,45803	0,018915	-0,04885	0,086684
c	-0,04630	-0,05292	-0,03968	-0,033978	-0,03938	-0,028580
R ²	0,87**			0,84**		
		Soja			Sorgo	
a	-0,940529	-1,09625	-0,784813	-0,981075	-1,18840	-0,773751
b	0,021954	-0,08706	0,130967	0,013197	-0,12988	0,156274
c	-0,039554	-0,04521	-0,033897	-0,048074	-0,05386	-0,042286
R ²	0,86**			0,90**		

θ : teor de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Ds: densidade do solo (Mg m^{-3}); Ψ : potencial de água no solo (MPa); Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95%, respectivamente; ** significativo pelo teste “F” a 1%.

Com base no proposto por Grantz e Slinker (1990), Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012) é possível afirmar que os coeficientes do ajuste da curva de retenção de água do solo foram estatisticamente significativos, pois o intervalo de confiança dos coeficientes não inclui o valor igual a zero, exceto o coeficiente “b” na profundidade 0,15 m e 0,25 m em todos os tratamentos (Quadro 2 e 3).

A curva de retenção de água no solo foi significativa, aumentando a retenção com a Ds, e diminuindo com o potencial total e (Quadros 2 e 3), como também observado por Tormena et al. (1999); Tormena et al. (2007); Serafim et al. (2008b); Lima et al. (2012); Bergamin (2012); Garbiate (2013) e Pereira et al., (2014).

Para Blainski et al. (2012), em elevados potenciais matriciais, essa dinâmica deve-se à redistribuição do tamanho de poros, com aumento na proporção de poros de menor diâmetro, que torna o solo mais eficiente na retenção de água. Já com o secamento do solo, a maior massa de sólidos por unidade de área, expressa pelo aumento de Ds, contribuiu para o aumento da θ (BLAINSKI et al., 2009).

O ajuste da curva de resistência do solo à penetração dos dados evidenciou que os parâmetros “e” e “f” foram estatisticamente significativos a 1%, pois seus intervalos de confiança não incluíram o valor zero, como proposto por Blainski et al. (2009) e Blainsiki et al. (2012) (Quadro 4 e 5). Já o coeficiente “d” do ajuste da curva de resistência do solo à penetração não foi significativo apenas nos modelos obtidos para o tratamento com *crotalaria juncea*, na profundidade de 0,15 m (Quadro 4). Na profundidade de 0,25 m o intervalo de confiança do coeficiente “e” do ajuste da curva de resistência do solo à penetração não inclui o valor igual a zero, possibilitando afirmar que este foi estatisticamente significativo (Quadro 5).

QUADRO 4. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta^e Ds^f$), com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0,15 m de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido ao preparo do solo, no momento da renovação do canavial com culturas alternativas.

Coeficientes	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
<i>C. Ochroleuca</i>				<i>C. Juncea</i>		
d	0,02883	0,00094	0,05671	0,00424	-0,00184	0,01033
e	-2,97696	-4,55983	-1,39410	-5,36353	-7,63442	-3,09265
f	4,06374	1,39928	6,72821	3,87096	0,20884	7,53307
R ²	0,78**			0,80**		
Girassol				Pousio		
d	0,03485	0,00861	0,06109	0,01322	0,00177	0,02467
e	-3,44163	-5,13692	-1,74634	-3,23839	-4,99029	-1,48650
f	3,30431	0,10611	6,50251	5,90676	2,70678	9,10675
R ²	0,86**			0,88**		
Soja				Sorgo		
d	0,08086	0,03287	0,12886	0,00720	0,00214	0,01227
e	-3,02053	-3,80893	-2,23214	-5,80087	-6,64797	-4,95377
f	0,74894	1,21636	2,71423	2,52596	0,52412	4,52780
R ²	0,81**			0,93**		

θ : teor de água no solo ($m^3 m^{-3}$); Ds : densidade do solo ($Mg m^{-3}$); Ψ : potencial de água no solo (MPa); Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95%, respectivamente; ** significativo pelo teste F a 1%.

Já o coeficiente “d” do ajuste da curva de resistência do solo à penetração foi significativo apenas nos modelos obtidos nos tratamentos com girassol e o coeficiente “f” foi significativo nos tratamentos com girassol e sorgo, pois nestes tratamentos o intervalo de confiança não inclui o valor igual zero sendo significativos conforme Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012).

QUADRO 5. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta^e Ds^f$), com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0,25 m de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido ao preparo do solo, no momento da renovação do canavial com culturas alternativas.

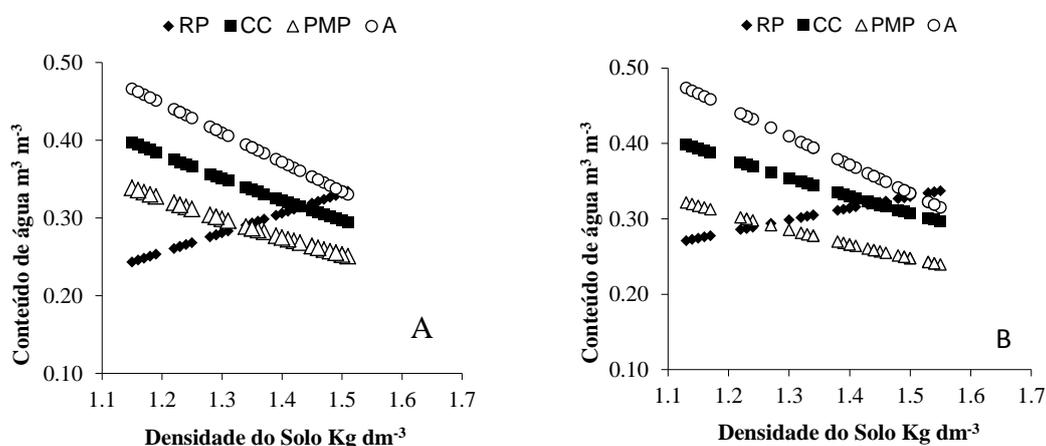
Coeficientes	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
<i>C. Ochroleuca</i>				<i>C. Juncea</i>		
d	0,0002	-0,0002	0,00059	0,00155	-0,0012	0,00435
e	-11,1486	-13,5088	-8,78840	-8,38209	-10,0528	-6,71134
f	-0,2006	-2,5896	2,18834	0,90025	-0,7661	2,56655
R ²	0,78**			0,78**		
Girassol				Pousio		

d	0,09561	0,05914	0,132075	0,01487	-0,00225	0,03200
e	-1,48627	-2,05914	-0,913408	-6,13764	-7,44219	-4,83310
f	5,31756	3,42067	7,214449	0,23667	-0,61951	1,09286
R ²	0,93**			0,78**		
	Soja			Sorgo		
d	0,01620	-0,00124	0,03365	0,00501	-0,00356	0,01357
e	-5,53293	-6,68709	-4,37876	-6,32303	-7,79221	-4,85385
f	1,10087	-0,09720	2,29895	2,73611	1,06304	4,40919
R ²	0,80**			0,81**		

θ : teor de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Ds: densidade do solo (Mg m^{-3}); Ψ : potencial de água no solo (MPa); Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95%, respectivamente; ** significativo pelo teste F a 1%.

O decréscimo do teor de água do solo e aumento da resistência do solo a penetração, pode estar associado à maior coesão entre as partículas minerais, ou seja, por adsorção entre partículas de mesma natureza por ligação eletrostática entre superfícies ou forças de Van der Waals, principalmente em solos com textura argilosa (BLAINSKI et al., 2009), enquanto a redução da resistência do solo à penetração com o teor de água no solo (θ) deve-se a redução da coesão entre as partículas, devido ao efeito lubrificante da água (BLAINSKI et al., 2012). Resultados semelhantes ao deste trabalho sobre a curva de resistência a penetração foram descritos por Sila et al. (1994); Garbiate (2013) e Pereira (2014).

A seguir são apresentadas as variações das tensões matriciais, os limites críticos correspondentes à capacidade de campo (0,006 Mpa), representado pelo ponto de murcha permanente (1,5 MPa), à porosidade de aeração de 0,10 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ e à resistência do solo à penetração das raízes de 2,0 MPa, para cada valor de densidade do solo (Figura 1).



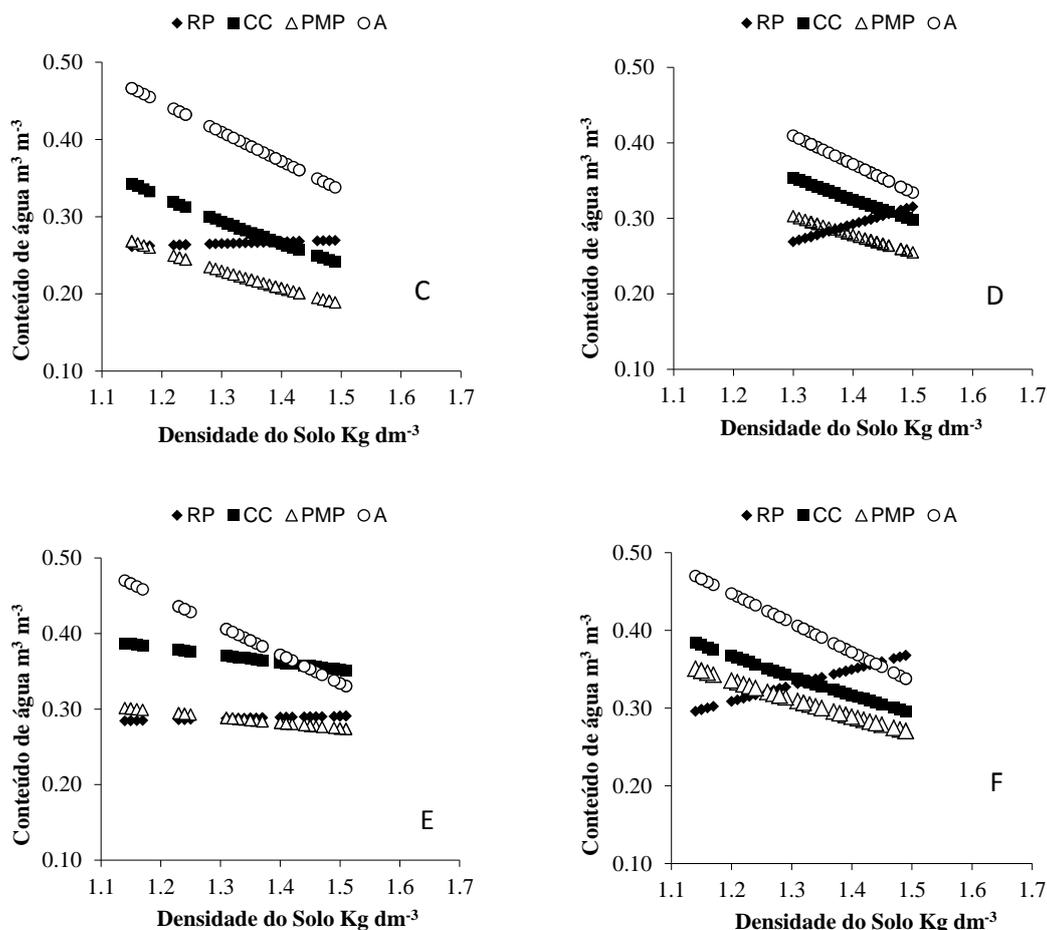


Figura 1. Variação do conteúdo de água na capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (θ_{PA}) e resistência do solo à penetração de $2,0 \text{ MPa}$ (θ_{RP}), em função da densidade de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido ao preparo do solo, na profundidade de $0,15 \text{ m}$ após a renovação do canal com culturas alternativas. “A” *Crotalaria Ochroleuca*; “B” *Crotalaria Juncea*; “C” Girassol; “D” Pousio; “E” Soja e “F” Sorgo Sacarino.

Constata-se aumento no IHO com o aumento da densidade do solo até a θ_{RP} substituir a θ_{PMP} ou a θ_{PA} substituir a θ_{CC} . Neste ponto, depara-se com o maior valor de água disponível. Neste contexto, o aumento da densidade do solo até certo limite é salutar em termos de retenção de água, como também descrito por Leão et al. (2006) e Severiano et al. (2011). Bergamin (2012); Garbiate (2013); Pereira (2014) encontraram resultados semelhantes ao trabalharem com Latossolo Vermelho distroférico, argiloso com tipos de manejos, sendo este comportamento uma característica deste solo.

Ao se verificar o intervalo hídrico ótimo (IHO) do solo com a *crotalaria juncea* (Figura 1B), nota-se maior intervalo de umidade até a densidade $1,4 \text{ g cm}^{-3}$ quando comparado aos demais tratamentos. Todos os seis tratamentos têm como limite superior

a porosidade de aeração, até em torno da densidade de $1,4 \text{ g cm}^{-3}$, quando o limite superior passa a ser o teor de água na capacidade de campo, para a profundidade de 0,15 m. Estes resultados estão de acordo com Garbiate (2013), que obteve como limite superior do IHO em Latossolo Vermelho distroférico argiloso, a capacidade de campo e até em torno de $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ de densidade e após isso obteve como limite superior o teor de água na porosidade de aeração. Resultados estes que diferem dos relatados por Garcia (2010), que teve como limite superior o teor de água na capacidade de campo em toda a faixa de densidade, ao avaliar a ação de espécies de cobertura, gramíneas e uma leguminosa, em rotação com a soja, nos atributos físicos de um Latossolo em semeadura direta, ao longo de três anos.

Em relação ao limite inferior, todos os tratamentos foram limitados pelo ponto de murcha permanente na profundidade 0,15 m, o que mostra a eficiência do plantio das culturas potencialmente renovadoras de canaviais para redução da RP, aliado a sistema de preparo do solo (Figura 1). A densidade crítica do solo (DSc), que corresponde a densidade onde o intervalo hídrico é nulo ou zero (SILVA et al. 1994), ocorreu na densidade do solo em torno de $1,57 \text{ g cm}^{-3}$, para os tratamentos que se utilizaram de *crotalária ochroleuca*, girassol e sorgo (Figura 1A, 1C e 1F). Os tratamentos, pousio, *crotalária juncea* e soja, não atingiram valores de densidade crítica. Para os tratamentos com *crotalária juncea* e soja o intervalo hídrico ótimo se estendeu até próximo a densidade de $1,60 \text{ g cm}^{-3}$. E as faixas de densidade de 1,15 a 1,60 e 1,10 a $1,57 \text{ g cm}^{-3}$ foi onde se obteve o maior intervalo hídrico ótimo nos tratamentos com *crotalária juncea* e soja para a profundidade de 0,15 m (Figura 1B e 1E).

As variações das tensões matriciais dos limites críticos correspondentes à capacidade de campo ($-0,006 \text{ Mpa}$), ponto de murcha permanente ($-1,5 \text{ Mpa}$), porosidade de aeração da $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e à resistência do solo à penetração das raízes de $2,0 \text{ MPa}$, para cada valor de densidade do solo, nos tratamentos avaliados na profundidade de 0,25 m, são apresentadas na (Figura 2).

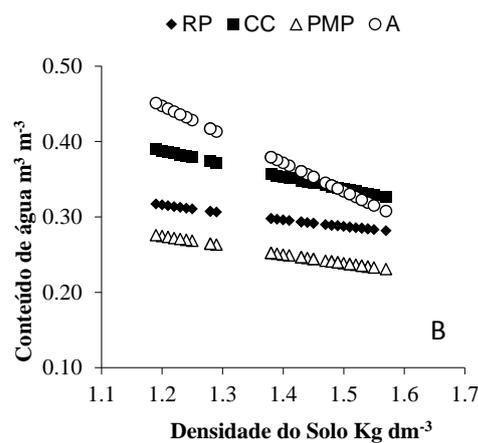
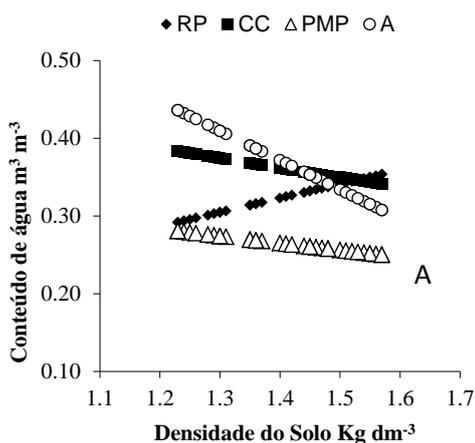
Para a profundidade de 0,25 m, constata-se aumento no IHO com o aumento da densidade do solo até a θ_{RP} substituir a θ_{PMP} ou a θ_{PA} substituir a θ_{CC} . Neste ponto, depara-se com o maior valor de água disponível, sendo o aumento da densidade benéfico para o aumento da retenção de água (Figura 2).

Os limites superiores da profundidade de 0,25 m apresentaram resultados similares aos da profundidade de 0,15 m, onde o limite superior do intervalo hídrico ótimo foi a capacidade de campo até a densidade de $1,40 \text{ g cm}^{-3}$, após esta densidade o limite

superior foi substituído pelo teor de água na porosidade de aeração em todos os tratamentos utilizados (Figura 2). O que está de acordo com os resultados obtidos por Blainski et al. (2009), que ao trabalharem em um solo argiloso, somente com uma densidade de $1,38 \text{ g m}^{-3}$ a θ_{PA} substituiu a θ_{CC} como fator limitante do IHO. Segundo Kaiser et al. (2009), quando o intervalo hídrico ótimo passa a ser reduzido em seu limite superior pelo conteúdo de água na porosidade de aeração, indica que os macroporos foram modificados por processos compressivos. Sendo que sua diminuição pode limitar as trocas gasosas do solo, já que uma das suas principais funções é a aeração do solo, o que pode prejudicar o crescimento das plantas.

Assim como na profundidade de 0,15 m a profundidade de 0,25 m o limite inferior, de todos os tratamentos foi o teor de água no ponto de murcha permanente. O que mostra a eficiência das culturas potencialmente renovadoras de canaviais para redução da resistência a penetração (RP) e melhorar a estrutura física do solo (Figura 2).

A densidade crítica do solo (DSc), que corresponde a densidade onde o intervalo hídrico é nulo (SILVA et al., 1994), ocorreu em valores densidade do solo próximos de $1,50 \text{ g cm}^{-3}$, para os tratamentos que se utilizaram de *crotalária ochroleuca*, girassol, pousio e sorgo (Figura 2A, 2C, 2D e 1F). Para os tratamentos com *crotalária juncea* e soja a densidade crítica do solo ficou próximo a $1,60 \text{ g cm}^{-3}$. Os maiores valores de intervalo hídrico ótimo foram obtidos nos tratamentos com *crotalária juncea* e soja para a profundidade de 0,15 m (Figura 2B e 2E).



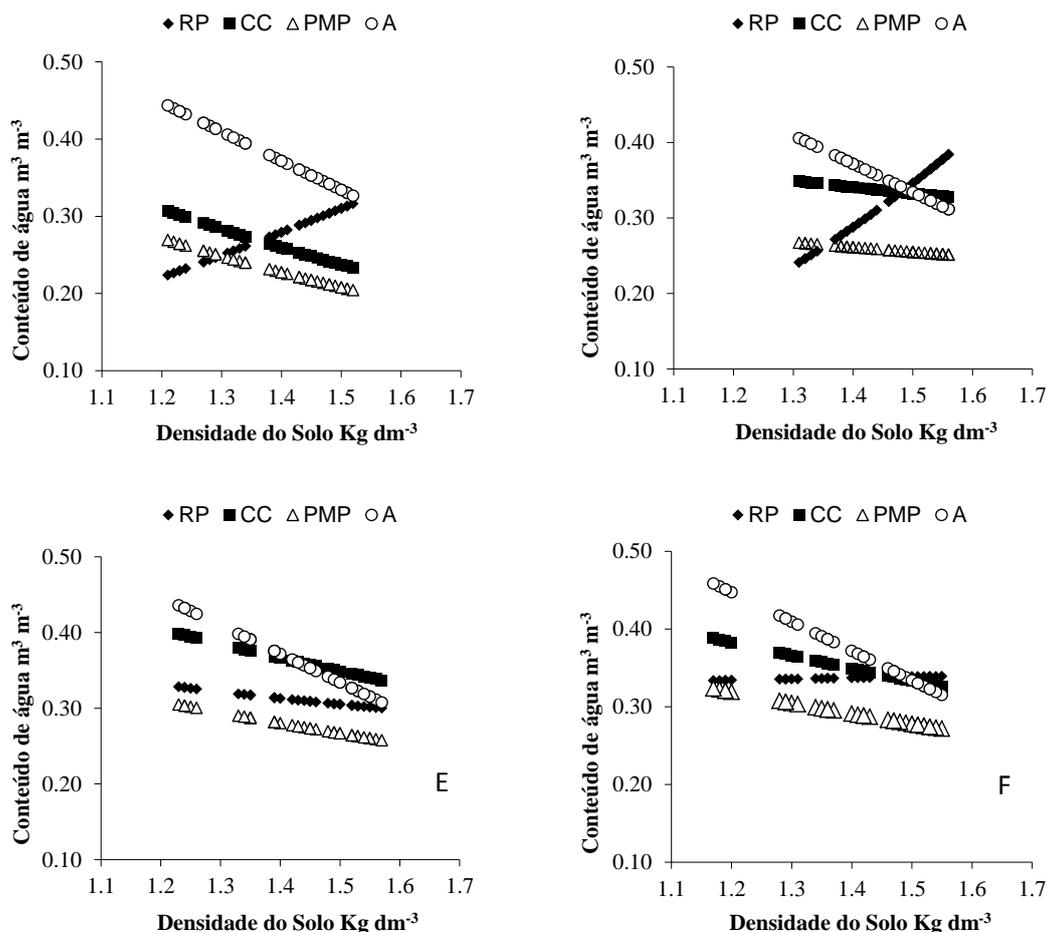


Figura 2. Variação do conteúdo de água na capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (θ_{PA}) e resistência do solo a penetração de $2,0 \text{ MPa}$ (θ_{RP}), em função da densidade de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido ao preparo do solo, na profundidade de $0,15$ e $0,25$ m, após a renovação do canal com culturas alternativas. “A” *Crotalaria Ochroleuca*; “B” *Crotalaria Juncea*; “C” Girassol; “D” Pousio; “E” Soja e “F” Sorgo Sacarino.

Todas as curvas ajustadas dos modelos de CSC apresentaram coeficientes de determinação (R^2) significativos a 1 % pelo teste F e variaram de $0,74$ a $0,90$ (Quadro 6).

QUADRO 6. Estimativas dos coeficientes “a” e “b” dos modelos de capacidade de suporte de carga do solo [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$], com respectivos coeficientes de determinação (R^2) e número de amostras (n), coletadas em duas profundidades de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido ao preparo do solo, no momento da renovação do canal com culturas alternativas

Tratamentos	a		b		R^2		
	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado		Intervalo de confiança	
		Li	Ls			Li	Ls

	0,15						
<i>C.Ochroleuca</i>	1,13	3,93	5,58	-6,98	-8,29	-5,67	0,83**
<i>C. Juncea</i>	5,43	3,93	5,94	-7,75	-9,05	-6,46	0,85**
Girassol	4,23	4,92	4,55	-4,69	-5,48	-3,89	0,85**
Pousio	4,28	4,82	4,62	-4,79	-5,63	-3,95	0,82**
Soja	3,77	3,48	4,06	-3,57	-4,28	-2,86	0,78**
Sorgo	5,20	3,90	5,57	-6,61	-7,54	-5,68	0,89**
	0,25						
<i>C.Ochroleuca</i>	5,68	5,11	6,25	-7,91	-9,31	-6,52	0,82**
<i>C. Juncea</i>	4,28	3,93	4,62	-4,46	-5,29	-3,63	0,80**
Girassol	4,07	3,79	4,34	-4,13	-4,81	-3,46	0,84**
Pousio	5,35	4,81	5,89	-6,78	-8,04	-5,52	0,82**
Soja	4,18	3,95	4,41	-4,07	-4,61	-3,53	0,90**
Sorgo	4,96	4,34	5,58	-5,82	-7,33	-4,31	0,74**

Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95 %, respectivamente; **: significativo pelo teste “F” a 1 %.

Imhoff et al. (2001) sugeriram a utilização do ajuste linear para σ_p em função da umidade e densidade. Contudo, a variação do conteúdo de água no solo, no trabalho, foi do ponto de murcha permanente até próximo da capacidade de campo, o que demonstrou que, nesse intervalo de umidade, a σ_p decresce linearmente com o incremento de umidade, como também observado por Severiano et al. (2010b). Porém, quando o solo se encontra sob conteúdos de umidade superiores à capacidade de campo, essa relação é exponencial, o que justifica o uso do ajuste não linear proposto (BUSSCHER, 1990). Apesar da carência de aplicações do referido ajuste na modelagem do comportamento compressivo do solo, a aceitação dessa proposta é baseada na significância das regressões (SEVERIANO et al., 2010b). O que é reafirmado por Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012) salientando que quando o intervalo de confiança dos coeficientes do ajuste dos modelos de CSC não inclui o valor igual a zero, possibilita afirmar que estes foram significativos (Quadro 6).

Para avaliar as possíveis alterações da estrutura do solo causadas pelas diferentes culturas potencialmente renovadoras do canavial, os modelos de CSC foram comparados utilizando o teste de homogeneidade de modelos lineares (SNEDECOR e COCHRAN, 1989) nas diferentes profundidades, dentro de cada cultura (Quadro 7). Os modelos de CSC para as profundidades de 0,15 m e 0,25 m, foram homogêneos (H) para os tratamentos com *Crotalaria juncea*, *crotalaria ochroleuca* e Girassol, o que não mostra diferença na CSC entre essas culturas. Para os tratamentos com pousio, soja BMX Turbo e sorgo BRS 506 os procedimentos estatísticos de Snedecor e Cochran (1989)

apresentaram diferença entre o comportamento compressivo do solo, sendo não homogêneo (NH) (Quadro 7).

QUADRO 7. Teste de significância de acordo com Snedecor e Cochran (1989) entre os modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$] nas profundidades de 0,15 e 0,25 m de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido ao preparo do solo, no momento da renovação do canavial com culturas alternativas.

Tratamentos	Profundidades (m)	F	F	F
			Coefficiente angular, b	Coefficiente linear, a
<i>C. Ochroleuca</i>	0,15 vs 0,25	H	ns	*
<i>C. Juncea</i>	0,15 vs 0,25	H	ns	**
Girassol	0,15 vs 0,25	H	ns	ns
Pousio	0,15 vs 0,25	NH	**	**
Soja	0,15 vs 0,25	NH	**	**
Sorgo	0,15 vs 0,25	NH	**	**

F: testa a homogeneidade dos dados; b: coeficiente angular da regressão linearizada; a: intercepto da regressão linearizada; H: homogêneo; NH: não homogêneo; ns: não significativo; * e ** significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

Os resultados de homogeneidade nos tratamentos com *Crotalaria juncea*, *crotalaria ochroleuca* e Girassol se devem ao revolvimento excessivo do solo causado por conta do preparo do solo, o que faz com que estas profundidades apresentem CSC iguais. Os resultados de não homogeneidade se devem a uma elevação no contato entre as partículas do solo, o que gera maior atrito interno no solo e aumento dos valores de pressão de preconsolidação, em consequência da elevada densidade inicial do solo $1,51 \text{ Mg m}^{-3}$, na profundidade de 0,25 m (Quadro 1). As comparações entre os modelos de CSC das rotações nas profundidades de 0,15 m e 0,25 m que não se diferenciaram, foram ajustadas uma única equação a todos os valores de σ_p e θ , obtendo-se assim um único modelo de CSC para estas culturas (Quadro 8).

QUADRO 8. Teste de significância de acordo com Snedecor e Cochran (1989) entre os modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$] de um Latossolo Vermelho distroférico, na profundidade de 0,15 e 0,25 m, submetido ao preparo do solo, no momento da renovação do canavial com culturas alternativas.

Tratamentos	F	F	F
		Coefficiente angular, b	Coefficiente linear, a
0,15 m			
<i>C. Ochroleuca</i> vs <i>C. Juncea</i>	NH	**	**
<i>C. Ochroleuca</i> vs Girassol	H	ns	ns

<i>C. Ochroleuca</i> vs Pousio	H	ns	ns
<i>C. Ochroleuca</i> vs Soja	H	ns	ns
<i>C. Ochroleuca</i> vs Sorgo	NH	**	**
<i>C. Juncea</i> vs Girassol	H	ns	ns
<i>C. Juncea</i> vs Pousio	H	ns	ns
<i>C. Juncea</i> vs Soja	NH	ns	ns
<i>C. Juncea</i> vs Sorgo	H	ns	**
Girassol vs Pousio	H	ns	ns
Girassol vs Soja	H	ns	ns
Girassol vs Sorgo	NH	**	**
Pousio vs Soja	H	ns	ns
Pousio vs Sorgo	NH	**	**
Soja vs Sorgo	H	**	**
0,25 m			
<i>C. Ochroleuca</i> vs <i>C. Juncea</i>	H	ns	ns
<i>C. Ochroleuca</i> vs Girassol	H	ns	ns
<i>C. Ochroleuca</i> vs Pousio	NH	**	**
<i>C. Ochroleuca</i> vs Soja	H	ns	ns
<i>C. Ochroleuca</i> vs Sorgo	NH	**	**
<i>C. Juncea</i> vs Girassol	H	ns	ns
<i>C. Juncea</i> vs Pousio	NH	**	**
<i>C. Juncea</i> vs Soja	H	ns	ns
<i>C. Juncea</i> vs Sorgo	NH	**	**
Girassol vs Pousio	NH	ns	ns
Girassol vs Soja	H	ns	ns
Girassol vs Sorgo	NH	**	**
Pousio vs Soja	H	ns	ns
Pousio vs Sorgo	NH	**	**
Soja vs Sorgo	H	**	**

F: testa a homogeneidade dos dados; b: coeficiente angular da regressão linearizada; a: intercepto da regressão linearizada; H: homogêneo; NH: não homogêneo; ns: não significativo; * e ** significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

As comparações entre os modelos de CSC das culturas nas duas profundidades que apresentaram diferenças pelo teste F, não foram realizadas nenhum agrupamento.

Foram formados os seguintes agrupamentos na profundidade de 0,15 m: 1° *C. juncea*=Girassol=Pousio=Soja; 2° *C. ochroleuca*=Girassol=Pousio=Sorgo e 3° Sorgo. Na profundidade de 0,15-0,30 m os agrupamentos se deram na seguinte ordem: 1° *C. juncea*=*C. Ochroleuca*=Girassol=Soja; 2° Girassol=Pousio=Soja e 3° Sorgo.

Em todos os modelos de CSC das culturas estudadas, observou-se que a σ_p variou significativamente e inversamente com a θ , nas profundidades de 0,15 e 0,25 m (Figura 3). A σ_p do solo tornou-se maior à medida que o solo fica mais seco, pois decresce a coesão entre as partículas sólidas e concomitantemente expõe as partículas sólidas a

filmes de água, o que reduz o atrito entre partículas. (PACHECO e CANTALICE, 2011). O que está de acordo com Silva et al. (2006) que relataram que quando o solo seca a (σ_p) pressão de preconsolidação aumenta exponencialmente com a redução da umidade, aumentando a capacidade de suporte de carga do solo, o que proporciona um menor risco de ocorrência de compactação. Ocorreu um decréscimo exponencial da σ_p com o aumento do θ (Figura 3 e 4). Este comportamento da compressibilidade do solo também foi descrita por Dias junior (1994); Silva et al. (2006); Bergamin (2012); Garbiate (2013) e Pereira (2014).

Pode-se observar que a CSC do solo na profundidade de 0,15 m segue a seguinte ordem, Sorgo > *C. ochroleuca*=Girassol=Pousio=Sorgo > *C. juncea*=Girassol=Pousio=Soja (Figura 3). A maior CSC foi encontrada para o solo sob a cultura com Sorgo, ao longo de quase todo o intervalo de umidade. A não obtenção de distintos modelos de CSC pode estar ligado a homogeneização proporcionada pelo preparo do solo. O que de acordo com Gontijo et al. (2007) ocorre pelas constantes alterações da estrutura do solo ocasionadas pelas operações de cultivo convencional, que promovem a inversão das camadas e deposições diferenciais de partículas influenciando a σ_p .

Para a profundidade de 0,25 m ao se comparar os modelos de CSC das culturas alternativas para renovação de canaviais, a cultura com Sorgo apresentou CSC maior do que com o agrupamento que contém a soja, que é tradicionalmente a mais utilizada nas usinas, no momento da renovação. A maior CSC encontrada na rotação com Sorgo contribui para que a suscetibilidade do solo à compactação seja diminuída, entretanto esta condição leva o solo a apresentar elevadas densidades o que pode limitar o crescimento das culturas (Figura 3 e 4). Levando em consideração a pressão média de 450 KPa aplicada por um conjunto de reboque e caminhão, utilizados no manejo da cana-de-açúcar de acordo com Oliveira et al. (2003), as umidades críticas, para a profundidade de 0,15 m, nos agrupamentos com, *C. juncea*=Girassol=Pousio=Soja e *C. ochroleuca*=Girassol=Pousio=Sorgo, não ocorreu, podendo o solo ser trafegado com estes equipamentos em toda faixa de umidade. A umidade crítica ocorre somente para o sorgo, tratamento este em que não houve agrupamento ficando em $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

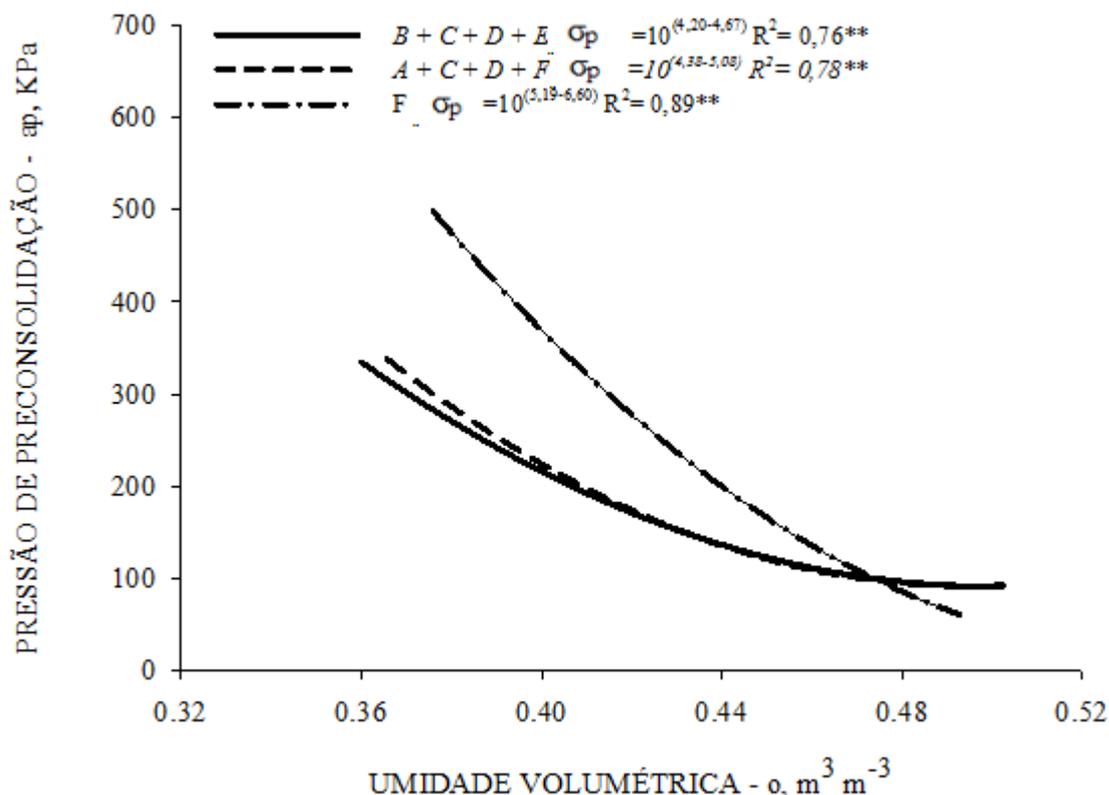


FIGURA 3. Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, submetido ao preparo do solo, na profundidade de 0,15 m, após a renovação do canal com culturas alternativas. “A” *Crotalaria Ochroleuca*; “B” *Crotalaria Juncea*; “C” Girassol; “D” Pousio; “E” Soja e “F” Sorgo Sacarino.

Na profundidade de 0,25 m houve tendência de aumento da CSC, com valores superiores aos da profundidade de 0,15 m em todas as rotações de culturas. E com isso aumentaram os valores de umidade volumétrica crítica para os manejos (Figura 4), o que está de acordo com Bergamin (2012). Os valores das umidades críticas para as culturas na profundidade 0,25 m não foram estabelecidos, por ter sido considerado apenas a profundidade de 0,15 m, que é menos resistente à compactação para os manejos utilizados (ARAÚJO-JUNIOR et al., 2001; (BERGAMIN, 2012).

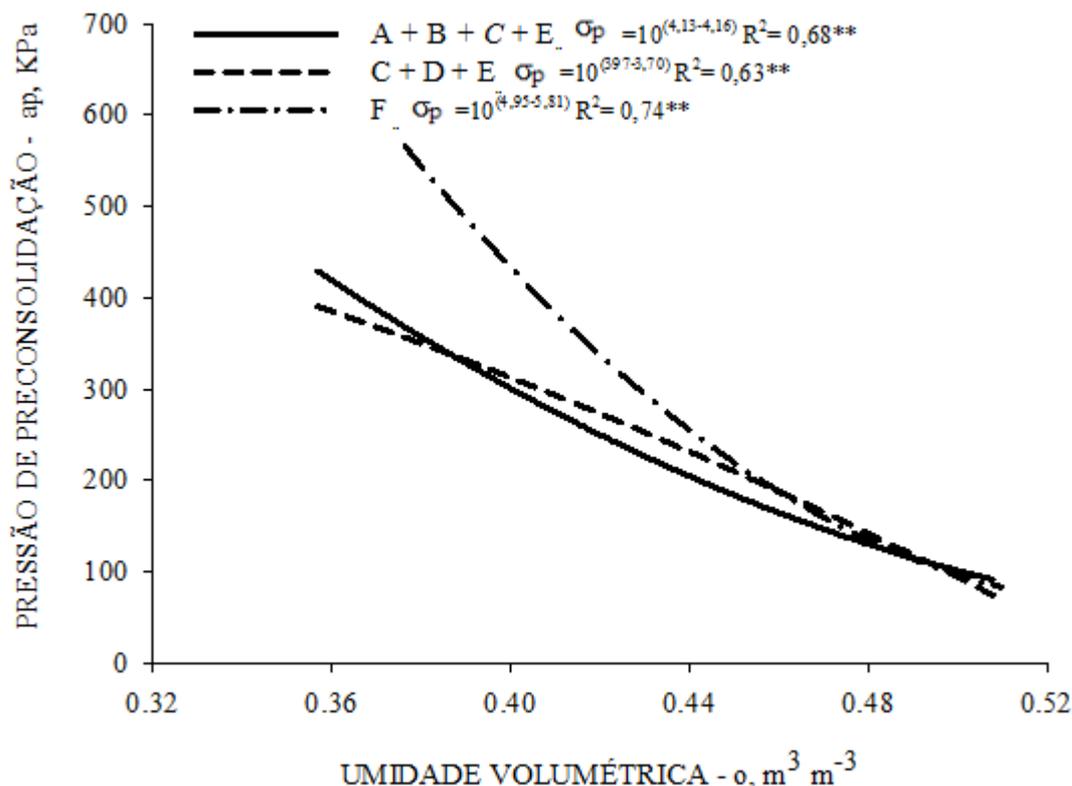


FIGURA 4. Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, submetido ao preparo do solo, na profundidade de 0,25 m, após a renovação do canal com culturas alternativas. “A” *Crotalaria Ochroleuca*; “B” *Crotalaria Juncea*; “C” Girassol; “D” Pousio; “E” Soja e “F” Sorgo Sacarino.

Pode-se observar que a CSC do solo na profundidade de 0,25 m segue a seguinte ordem, sorgo > *C. juncea*=*C. Ochroleuca*=*Girassol* > *Girassol*=*Pousio*=*Soja*, até a umidade de $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, após esta umidade a ordem se alterou para sorgo > *Girassol*=*Pousio*=*Soja* > *C. juncea*=*C. Ochroleuca*=*Girassol* (Figura 4).

Os maiores valores de CSC foram obtidos para a cultura com Sorgo BRS 506, tanto para a profundidade de 0,15 m como para profundidade de 0,25 m. Já as menores CSC foram obtidas na rotação de cultura com *Girassol*=*Pousio*=*Soja* até a umidade de $0,38 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e *C. juncea*=*C. Ochroleuca*=*Girassol* após essa umidade. As rotações com culturas potencialmente renovadoras de canal reduziram a densidade do solo e aumentaram a sua macroporosidade, o que reduz a compactação e torna o solo mais suscetível a compressão e melhora a qualidade física do solo. Bergamin (2012) ao trabalhar com culturas oleaginosas em Latossolo Vermelho distroférico, obteve diferentes modelos CSC, o que segundo o autor pode estar relacionado ao sistema radicular das culturas, atuando na redução da resistência do solo e também pelo aporte de material orgânico ao solo.

O aporte de resíduos orgânicos, associado ao processo de humificação promove melhoria dos atributos do solo e garante ao agricultor a manutenção do sistema produtivo (COELHO et al., 2013). Neste contexto a adição de material orgânico ao solo e consequente elevação dos compostos orgânicos são benéficos para melhoria dos atributos do solo.

Além dos benefícios provenientes da adição da matéria orgânica as plantas de coberturas proporcionam, o rompimento da camada compactada dos solos, por meio do seu sistema radicular. Garcia (2010) ressalta que as gramíneas, como o sorgo produzem sistema radicular volumoso com grande capacidade de explorar o perfil do solo e formar bioporos. Já Vezzani e Mielniczuk (2011), ressalta a importância das raízes e sua decomposição na melhoria da estrutura do solo, o que restabelece o potencial produtivo do solo. As espécies com sistema radicular pivotante como as *crotalárias*, produzem menor quantidade de bioporos, apesar de possuírem maior capacidade de romper as camadas compactadas. O que está também de acordo com Lima et al. (2012) que citam que o desenvolvimento do sistema radicular proporciona o rompimento de camadas compactadas, e assim consequentemente exploram maior volume de solo e melhoram o aproveitamento da água e dos nutrientes.

A cultura do sorgo apresentou o maior aporte de matéria de seca com 10,97 Mg ha⁻¹. Resultado este considerado elevado quando comparado ao obtido por Garcia (2010) ao trabalhar com rotação de culturas em Latossolo Vermelho distroférico argiloso, após pousio obteve 2,72 Mg ha⁻¹ de produção de matéria seca de sorgo no outono-inverno.

Obteve-se valores de 9,24 Mg ha⁻¹ para *crotalaria juncea* e de 6,64 Mg ha⁻¹ para *crotalaria ochroleuca* de matéria seca, resultados que são semelhantes aos encontrados por Perin et al. (2004) ao avaliar os efeitos dos cultivos de adubos verdes de verão, *crotalaria juncea* na produção de fitomassa obtiveram uma produção de 9,34 Mg ha⁻¹ de material vegetal. Já Garcia (2010) ao utilizar *crotalaria juncea* no cultivo de primavera para produção de matéria seca em sucessão ao sorgo cultivado no outono-inverno, durante 3 anos obteve média de 2,52 Mg ha⁻¹. O girassol apresentou incremento de matéria de seca de 1,92 Mg ha⁻¹. Já a soja apresentou o menor acúmulo de matéria seca com 1310 kg ha⁻¹.

CONCLUSÕES

O cultivo de *Crotalaria juncea* favorece os maiores valores do intervalo hídrico ótimo e os menores valores de capacidade de suporte de carga do solo.

Com o cultivo da *crotalaria juncea* o IHO foi menor nos maiores valores de densidade.

Para todas as culturas estudadas no período de reforma do canavial a porosidade de aeração é o principal atributo físico que limita o intervalo hídrico ótimo.

O cultivo do sorgo apresentou as maiores capacidades de suporte de carga representando a pior qualidade estrutural do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, S.L.; REICHERT, J.M. & REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.28, p.519-531, 2004.

ARANTES, H. P. **Atributos físico-hídricos do solo após colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. 2015. 45 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

ARAÚJO–JUNIOR, C.F.; DIAS JUNIOR, M.S.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALCÂNTARA, E.N. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.115-131, 2011.

BERGAMIN, A.C. **Indicadores da qualidade estrutural de um Latossolo cultivado com oleaginosas em sistema de sucessão com soja e milho**. 2012. 129 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; LEMPP, B.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, F.R. Anatomia radicular de milho em solo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.299-305, 2010a.

BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; FRANCHINI, J.C.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, F.R. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférrico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.681-691, 2010b.

BUSSCHER, W.J. Adjustment of that-tipped penetrometer resistance data to a common water content. **Transactions of the ASAE**, v.33, p.519-524, 1990.

BLAINSKI, E.; GONÇALVES, A.C.A.; TORMENA, C.A.; FOLEGATTI, M.V.; GUIMARÃES, R.M.L. Intervalo hídrico ótimo num Nitossolo Vermelho distroférrico irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.273-281, 2009.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C.A.; GUIMARÃES, R.M.L; NANNI, M.R. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.79-87, 2012.

BRADFORD, J.M. Penetrability. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.463-478.

BOWLES, J.E. **Engineering properties of soils and their measurements**. 3.ed. Auckland: McGraw-Hill. 218p. 1986.

CALONEGO, J.C.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C.A.C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2183-2190, 2011.

COELHO, M. S. MENDONÇA, E. S. LIMA, P. C. GUIMARÃES, G. P. CARDOSO, I. C. Qualidade da matéria orgânica de solos sob cultivo de café consórciado com adubos verdes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p. 1576-1586, 2013.

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

COSTA, E. A. GOEDERT, W. J. SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1185 – 1191, 2006.

CUNHA, E. Q. STONE, L. F. MOREIRA, J. A. A. FERREIRA, E. P. B. DIDONET, A. D. LEANDRO, W. M. **Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I – Atributos físicos do solo**. Revista Brasileira de Ciências do Solo. v. 35, p. 589-602, 2011.

DONAGEMMA, G.K. et al. (2011) - **Manual de métodos de análise de solos**. 2ª ed. Revista. Rio de Janeiro, Embrapa solos, 212p.

DIAS JUNIOR, M.S. **Compression of three soils under longterm tillage and wheel traffic**. 1994. 114 f. Tese (Doctored Crop and Soil Science) - Michigan State University, East Lansing-MI.

DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, v.8, p.139-151, 1995.

DIAS JUNIOR, M.S. & PIERCE, F.J. Revisão de literatura: O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 20, p. 175-182, 1996.

DIAS JUNIOR, M.S.; LEITE, F.P.; LASMAR JÚNIOR, E. & ARAUJO JUNIOR, C.F. Traffic effects on the soil preconsolidation pressure due to Eucalyptus harvest operations. **Scientia Agricola**, v. 62, p. 248-255, 2005.

GARBIATE, M. V. **Qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho distroférico submetido à escarificação pós colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. 2013. 67 f. (Mestrado em Agronomia, Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

GARCIA, R. A. **Rotação de culturas e propriedades físicas e matéria orgânica de um Latossolo**. 2010. 146 f. (Doutorado em Agronomia, Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP.

GONTIJO, I. DIAS JUNIOR, M. S. OLIVEIRA, M. S. ARAUJO JUNIOR, C. F. PIRES, B. S. OLIVEIRA, C. A. Planejamento amostral da pressão de preconsolidação de um latossolo vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, p. 1245 – 1254, 2007.

GRABLE, A.R.; SIEMER, E.G. Effects of bulk density aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of American Journal**, v.32, p.180-186, 1968.

GRANTZ, S.A.; SLINKER, B.K. **Primer of applied regression and analysis of variance**. New York: McGraw Hill, 1990. 777p.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; DIAS JUNIOR, M.S.; TORMENA, C.A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.11-18, 2001.

KAISER, D. R. REINERT, D. J. REICHERT, J. M. COLLARES, G. L. KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, p. 845 – 855, 2009.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis - physical and mineralogical methods**. 2 ed. Madison: ASA – SSSA, 1986, p.635-662.

KONDO, M.K. & DIAS JÚNIOR, M.S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 23, p. 211 - 218, 1999.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V.P.B. Least limiting water range: A potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. **Soil and Tillage Research**, v.88, p.279-285, 2006.

LIMA FILHO, O. S.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e práticas**. Brasília: Embrapa, 2014. 507 p.

LIMA, V. M. P. OLIVEIRA, G. C. SERAFIM, M. E. CURI, N. EVANGELISTA, A. R. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 71 – 78, 2012.

MOREIRA, F. R.; DECHEN, S. C. F.; SILVA, A. P.; FIGUEIREDO, G. C.; MARIA, I. C.; TEREZINHA, P. Intervalo hídrico ótimo em um Latossolo vermelho cultivado em sistema semeadura direta por 25 anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.118 -127, 2014.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S. & CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p. 291-299, 2003.

PACHECO, E.P.; CANTALICE, J.R.B. Compressibilidade, resistência a penetração e intervalo hídrico ótimo de um Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros de alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.403-415, 2011.

PEIXOTO, P.P.P. **Bases para aproveitamento e gerenciamento de recursos hídricos na região de Dourados-MS**. 2002. 98 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP.

PEREIRA, A. H. F. **Atributos físicos do solo sob tipos de transbordo em colheita mecanizada de cana crua**. 2014. 54 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

PERIN, A. SANTOS, R. H. S. URQUIAGA, S. GUERRA, J. G. M. CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 35-40, 2004.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 211-216, 1988.

ROSS, P.J.; WILLIAMS, J.; BRISTOW, K.L. Equations for extending water-retention curves to dryness. **Soil Science Society of American Journal**, v.55, p.923-927, 1991.

SAVAGE, M.J.; RITCHIE, J.T.; LAND, W.L.; DUGAS, W.A. Lower limit of soil water available. **Agronomy Journal**, v.88, p.844-851, 1996.

SERAFIM, M.E.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, C.M.A.; PRADO, E.D.; VENTURIN, J.C.; YAMAMOTO, N.T. Desenvolvimento de um penetrógrafo eletromecânico de bancada. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, v.17, p.61-65, 2008a.

SERAFIM, M.E.; VITORINO, A.C.T.; PEIXOTO, P.P.P.; SOUZA, C.M.A.; CARVALHO, D.F. Intervalo hídrico ótimo em um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de produção. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.654-665, 2008b.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; COSTA K.A.P.; SILVA, F.G.; FERREIRA FILHO, S.M. Structural changes in Latosols of the cerrado region: I – relationships between soil physical properties and least limiting water range. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.773-782, 2011.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; COSTA, K.A.P.; CASTRO, M.B. & MAGALHÃES, E.N. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p.39-45, 2010a.

SEVERIANO, E. C. OLIVEIRA, G. C. DIAS JÚNIRO, M. S. CASTRO, M. B. OLIVEIRA, L. F. C. COSTA, K. A. P. Compactação de solos cultivados com cana-de-açúcar: ii -Quantificação das restrições às funções edáficas do solo em decorrência da compactação prejudicial. **Engenharia Agrícola**, v.30, p.414-423, 2010b.

SEVERIANO, E. C. OLIVEIRA, G. C. DIAS JÚNIOR, M. S. OLIVEIRA, L. F. C. CASTRO, C. B. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores

de alterações estruturais de um latossolo e de um cambissolo sob cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 1419 – 1427, 2008.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1775-1781, 1994.

SILVA, R.B.; DIAS JUNIOR, M.S.; SILVA, F.A.M. & FOLE, S.M.O. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, p. 211-218, 2003.

SILVA, A, R. DIAS JUNIOR, M. S. GUIMARÃES, P. T. G. ARAÚJO JUNIOR, C. F. Modelagem da capacidade de suporte de carga e quantificação dos efeitos das operações mecanizadas em um latossolo amarelo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 30, p. 207-216, 2006.

STATSOFT, **Iniciação Estatística** (Data Analysis Software System), Version 7, 2007.

SNEDECOR, G.W.; COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. 8 ed. Ames: Iowa State University Press, 1989. 503 p.

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

TAYLOR, D.W. **Fundamentals of soil mechanics**. New York: J. Wiley, 1948. 700 p.

TORMENA, C. A. SILVA, A. P. GONÇALVES, A. C. A. FOLEGATTI, M. V. Intervalo ótimo de potencial da água no solo: Um conceito para avaliação da qualidade física do solo e manejo da água na agricultura irrigada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, p. 286-292, 1999.

TORMENA, C.A.; ARAÚJO, M.A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J.M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.211-219, 2007.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.213-223, 2011.

ARTIGO 2

QUALIDADE FÍSICO-HÍDRICA DE UM LATOSSOLO SOB SEMEADURA DIRETA DE CULTURAS PARA A RENOVAÇÃO DO CANAVIAL

RESUMO

A semeadura direta visa manter o solo ao longo do ano coberto e sem revolvimento e considera a necessidade de rotação de culturas. Assim, a manutenção dos restos vegetais de culturas com potencial de renovação de canaviais sobre a superfície do solo pode ser um diferencial importante para que se alcance bons resultados, como melhoraria da qualidade estrutural do solo. Objetivou-se avaliar a qualidade estrutural do solo após a utilização de culturas alternativas na renovação da cana-de-açúcar sob semeadura direta, por meio do intervalo hídrico ótimo (IHO) e da capacidade de suporte de carga do solo (CSC). O estudo foi realizado no ano agrícola de 2012/2013, em um Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso. O delineamento experimental foi em blocos, em esquema de faixas, com seis tratamentos e com cinco repetições. Foram avaliadas duas profundidades, 0,15 e 0,25 m. Os tratamentos foram: *Crotalaria Juncea*; *Crotalaria Ochroleuca*; Girassol; Pousio; Soja e Sorgo sacarino. Os tratamentos alteraram os atributos físico-hídricos do solo, nas duas profundidades avaliadas. De maneira geral, a aeração foi o fator mais limitante ao adequado crescimento das plantas nas duas profundidades. Analisando o IHO em cada cultura observou-se que a maior qualidade estrutural do solo foi proporcionada pela *Crotalaria juncea*. A *Crotalaria ochroleuca*, girassol, soja e sorgo, não se diferenciaram quando comparadas com o pousio. Pode-se observar que as maiores CSC do solo na profundidade de 0,15 m foram encontradas no agrupamento de soja+sorgo ao longo de todo o intervalo de umidade. Na profundidade de 0,25 m as maiores capacidades de suporte de carga são encontradas para o agrupamento de *C. juncea*=girassol=sorgo até a umidade de $0,37 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, seguido do agrupamento com pousio=soja que apresenta a maior CSC até a umidade de $0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e posteriormente a maior CSC se dá no agrupamento com *C. ochroleuca*=soja.

Palavras-chave: pressão de preconsolidação, compressibilidade, compactação do solo.

PHYSICAL AND WATER QUALITY OF A LATOSOL UNDER NO-TILLAGE CROPS WITH ALTERNATIVE FOR RENEWAL OF CANEBRAKE

ABSTRACT

The no-tillage system aims to keep the soil soon covered year and without disturbance and considers the need for crop rotation. Thus, the maintenance of crop residues with potential for renewal sugarcane plantations on the soil surface can be a key differentiator for achieving good results as improve the structural soil quality. The objective of this study was to evaluate the structural quality of the soil after use of alternative crops in crop rotation with sugarcane at the time of renewal of sugarcane under no-tillage system, through limiting water range (IHO) and soil load bearing capability (CSC). The study was conducted in the San Fernando plant area in Dourados - MS, in the agricultural year 2012/2013. The soil in the experimental area was classified as Oxisol. The experiment was arranged in tracks, with a randomized block design, with conventional tillage, with 6 treatments evaluated in two depths, 0.15 and 0.25 m, with 5 repetitions. The treatments were: *Crotalaria juncea*; Sunnhemp *Ochroleuca*; BRS Sunflower 321; Fallow; SOJA BMX Turbo and sorghum BRS 506. The treatments altered the physical-hydric soil properties at both depths evaluated. In general, the aeration was the most limiting factor to the proper growth of the plants at both depths. Analyzing the optimum water range in each crop rotation was observed that most structural soil quality was provided by rotation with *Crotalaria juncea*. Rotations with *Crotalaria ochroleuca*, sunflower, soybean and sorghum did not differ when compared with the fallow. It can be seen that the greater soil CSC depth of 0.15 m were found in soybean + sorghum group throughout the humidity range. The depth of 0.25 m larger load bearing capacity has been to find grouping *juncea* C + + Sunflower sorghum until the moisture of 0.37 m³ m⁻³, followed by pooling with fallow had the highest soy + CSC until the moisture of 0.42 m³m⁻³ and later most CSC occurred in the group with *C. ochroleuca* + soybeans. The preconsolidation pressure values between crop rotations at the time of sugarcane renovation diminish as soil moisture increases.

Keywords: preconsolidation pressure, compressibility, soil compaction.

INTRODUÇÃO

Os diferentes tipos de preparo podem produzir mudanças estruturais marcantes no solo. De acordo com estudos de avaliação sabe-se que, quanto menor for o revolvimento do solo menor será sua degradação física. A manutenção da matéria orgânica proveniente dos restos culturais na superfície do solo promove aumento da qualidade dos atributos físicos do solo (PRADO et al., 2014). Neste sentido a semeadura direta, é um processo que preconiza o mínimo revolvimento do solo, possibilitando que tal qualidade seja alcançada.

Com a melhoria da qualidade física do solo ocorre maior infiltração, redução dos processos erosivos, diminuição do escoamento superficial e melhoria da disponibilidade de água do solo. Com aumento da água disponível, o fenômeno da capilaridade favorece o crescimento das raízes, pois atua como lubrificante entre os macroporos do solo, o que é essencial aos processos metabólicos das plantas. Permitindo que a planta explore um maior volume de solo em busca de água, ar e nutrientes.

Os atributos físicos do solo podem ser relacionados com as produtividades das culturas (KAY, 1990). Sendo divididos em atributos que são diretamente relacionados com o desenvolvimento das plantas como, água, oxigênio, temperatura e resistência do solo a penetração das raízes. E atributos indiretamente relacionados com o crescimento das plantas como, textura, densidade, porosidade e agregação (LETEY, 1985). A divisão dos atributos do solo em diretos e indiretamente relacionados com o crescimento das plantas indicou a necessidade da criação de um parâmetro que integrasse todos estes atributos. O que está de acordo com Guimarães et al. (2013) que relataram que a quantificação dos impactos do manejo sobre a qualidade física do solo deveria ser realizada por meio de atributos que determinam os processos fisiológicos ligados ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

Nesta busca o intervalo hídrico ótimo (IHO), integra propriedades do solo diretamente e indiretamente relacionados com o desenvolvimento das culturas e corresponde ao intervalo entre os limites superior e inferior do conteúdo de água no solo, no qual são mínimas as limitações para o desenvolvimento radicular (SILVA et al., 1994; BEUTLER et al., 2004; LEÃO et al., 2004; LEÃO et al., 2006; KLEIN e CAMARA, 2007; FREDDI et al., 2008; MOREIRA et al., 2014). O IHO é um moderno indicador da

qualidade física que potencialmente pode apresentar os mecanismos e processos de perda ou recuperação da qualidade física do solo, por causa do seu uso e manejo (GUIMARÃES et al., 2013).

Desta forma, a qualidade física do solo pode ser melhorada através da bioporosidade que é aumentada com o uso de plantas de cobertura com sistema radicular capaz de romper camadas compactadas e formar novos poros, contínuos e estáveis (ABREU et al., 2004).

Os canais das raízes deixados após sua morte podem afetar a resistência a penetração crítica (RP) ao desenvolvimento das culturas, podendo ser maior em sistemas de semeadura direta quando comparado ao manejo convencional do solo, onde o preparo do solo ocasionaria a suspensão da continuidade dos macroporos e dos condutos do solo (CALONEGO et al., 2011).

No preparo do solo, o tráfego de máquinas e em condições de umidade inadequada, consistência do solo no estado plástico, são alguns fatores que provocam deformações plásticas e não recuperáveis (ORTIGARA et al., 2014). O que corrobora com Souza et al. (2014) onde indicam que o cultivo do canavial com tráfego intenso de máquinas, principalmente na colheita, resulta em compactação do solo, o que influencia no desenvolvimento da cultura.

Para avaliação dessa deformação a pressão de preconsolidação é um dos indicativos da degradação física do solo, que indica o grau de compactação do solo (DIAS JUNIOR e PIERCE, 1995; IMHOFF et al., 2001; SANTOS, 2006; BERGAMIN et al., 2010a; BERGAMIN et al., 2010b; BERGAMIN, 2012). A pressão de preconsolidação demonstra o quanto o solo pode ser comprimido antes que se compacte e não consiga voltar ao seu estado físico original (van LIER, 2010). Ou seja, determina o efeito da variação de alguns de seus atributos do solo, devido a ação de cargas externas, tais como tráfego de máquinas e implementos agrícolas. Se mostrando também plausível na verificação da influência do crescimento radicular na compactação do solo.

Em um momento em que há o envelhecimento dos canaviais em todo Brasil, e a produtividade da cana-de-açúcar cai expressivamente. Surge a necessidade de medidas que busquem o aumento da produtividade dos canaviais.

Neste contexto, com a modernização da agricultura os processos produtivos evoluíram principalmente no sentido da informatização e automação industrial. Busca-se hoje processos produtivos mais eficientes e sustentáveis. Através do monitoramento e

com a utilização dos modernos indicadores da qualidade física do solo como, intervalo hídrico ótimo e a capacidade de suporte de carga do solo a eficiência produtiva dos canaviais pode ser alcançada.

Assim, a utilização de culturas na renovação de canaviais é uma das alternativas que pode ajudar na melhoria da qualidade físico-hídrica dos solos de canaviais, promovendo preservação da cobertura do solo, aporte de matéria vegetal, aumento da agregação e porosidade do solo, por meio da dinâmica da matéria orgânica proveniente do sistema e da formação de bioporos proveniente da decomposição dos sistemas radiculares das culturas antecessoras.

Dessa maneira, objetivou-se avaliar a qualidade estrutural do solo, sob semeadura direta de culturas antecessoras no momento da renovação do canavial, por meio do intervalo hídrico ótimo e da capacidade de suporte de carga do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área da Usina São Fernando no município de Dourados - MS, no ano agrícola de 2012/2013. O local situa-se em latitude de 22°24'58"S, longitude de 55°05'30"W e altitude de 410 m. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen. A região apresenta precipitação pluvial média anual de 1.400 mm e as temperaturas médias anuais variam de 18°C a 25°C nos meses mais frio e mais quente, respectivamente.

O solo na área do experimento foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico, cuja textura, determinada pelo método da pipeta (DONAGEMA, et al., 2011) foi 601 g kg⁻¹ de argila, 219 g kg⁻¹ de silte e 180 g kg⁻¹ de areia.

O experimento foi disposto em faixas, com delineamento em blocos casualizados, com seis tratamentos avaliados em duas profundidades 0,15 e 0,25 m com cinco repetições. As parcelas para cada tratamento tinham 18 m de largura por 20 m de comprimento, totalizando 360 m². Os tratamentos foram: *Crotalaria Juncea*; *Crotalaria Ochroleuca*; Girassol; Pousio; Soja e Sorgo sacarino.

A implantação do experimento ocorreu com a colheita do último corte da cana-de-açúcar (*Saccharum ssp*) em outubro de 2012. Após colheita da cana se procedeu a destruição química das touceiras, com posterior implantação das culturas potencialmente renovadoras em semeadura direta. Antes da semeadura da soja as sementes foram tratadas com CARBOXINA + TIRAM na dose 100 ml para cada 50 kg de sementes e inoculadas com INOCULANTE TURFOSO na dose de 80 g por saco de semente. Também foi utilizado no momento da semeadura a adubação com 250 kg ha⁻¹ da formula 08-20-20 mais 2% de Ca, 6% de S e 0,3% de Zn. Foi utilizado uma semeadora-adubadora de plantio direto, com sete linhas, espaçadas entre si de 0,45 m, semeando 16 sementes por metro, para obtenção de um stand final de 12 plantas por metro. Para a semeadura do sorgo sacarino BRS 506 e do girassol 321 foi utilizada uma semeadora-adubadora de plantio direto, com quatro linhas, espaçadas de 0,90 m, utilizando-se de 10 e 5 kg ha⁻¹ de semente respectivamente. Para a *crotalaria juncea* foram utilizados 25 kg ha⁻¹ de sementes com espaçamento de 0,45 m entre linhas. Já para a *crotalaria ochroleuca* utilizou-se 10 kg ha⁻¹ de sementes, com espaçamento de 0,45 m entre plantas. Todos os tratamentos foram semeados no dia 28/11/2012, exceto o tratamento com girassol BRS 321 que foi semeado no dia 07/12/2012.

Após o ciclo vegetativos das culturas se procedeu a colheita da soja em 01/03/2013. Para as demais culturas foi utilizado um triturador de palhas tratorizado para manejo dos restos culturais. Posterior ao manejo final das culturas se procedeu a coleta do solo com estrutura preservada em 11/04/2013. Após a coleta das amostras com estrutura preservadas em cilindros metálicos de 83 cm^3 , com raio de 3,22 cm x 2,55 cm de altura. Em cada parcela foram coletadas 7 amostras em cada profundidade, totalizando 70 amostras por tratamento (35 amostras em cada profundidade). Posteriormente as amostras foram preparadas para serem submetidas à saturação por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingirem cerca de dois terços da altura do cilindro metálico para posterior estabilização do teor de água. As 35 amostras de cada tratamento e profundidade foram divididas em 7 grupos de 5 amostras, sendo cada grupo submetido aos seguintes potenciais matriciais: -0,006; -0,01; -0,033; -0,066; -0,1; -0,3 e -1,5 MPa, utilizando mesa de tensão (-0,006 MPa) e câmara de Richards para os demais potenciais, conforme Klute (1986).

Quando as amostras atingiram o equilíbrio nos referidos potenciais, essas foram pesadas e logo em seguida encaminhadas para, a determinação da resistência do solo à penetração, utilizando um penetrógrafo eletrônico com velocidade constante de penetração de 1 cm min^{-1} , com diâmetro de base da haste de 4 mm e semiângulo de 30° , desenvolvido por Serafim et al. (2008b). Os valores obtidos nos 5 mm superiores e inferiores da amostra foram descartados, visando eliminar o efeito da periferia da amostra (BRADFORD, 1986).

A frequência de leituras de resistência do solo à penetração correspondeu à coleta de um valor a cada 0,25 s, obtendo-se 600 leituras por amostra, sendo utilizado o valor médio.

O IHO foi determinado com base nos procedimentos descritos em Silva et al. (1994). Os valores críticos de umidade associados com o potencial matricial, resistência do solo à penetração e porosidade de aeração, representados, respectivamente, pelo teor de água na capacidade de campo (θ_{CC}), potencial de -0,01 MPa (REICHARDT, 1988); pelo teor de água no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), potencial de -1,5 MPa (SAVAGE et al., 1996); pelo teor de água volumétrico no solo em que a resistência do solo à penetração (θ_{RP}) atinge 2,0 MPa (TAYLOR et al., 1966); e pelo teor de água volumétrico em que a porosidade de aeração (θ_{PA}) é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (GRABLE e SIEMER, 1968).

Para obter os valores de θ_{CC} e θ_{PMP} , utilizou-se o modelo matemático do tipo $[\theta = \exp(a+bDs)\Psi^c]$, proposto por Silva et al. (1994), para ajuste dos dados originais, o qual incorpora a variável densidade do solo na função empregada por Ross et al. (1991), em que θ é a umidade volumétrica do solo ($m^3 m^{-3}$); Ds é a densidade do solo ($Mg m^{-3}$); Ψ é o potencial matricial (MPa); e as letras “a”, “b” e “c” são os parâmetros empíricos de ajuste do modelo.

Os valores de RP de todas as amostras com θ e Ds conhecidas foram ajustados matematicamente, utilizando o modelo do tipo $[RP = d\theta^e Ds^f]$, proposto por Busscher (1990), em que RP é a resistência do solo à penetração (MPa); θ é a umidade volumétrica do solo ($m^3 m^{-3}$); Ds é a densidade do solo ($Mg m^{-3}$); e as letras “d”, “e” e “f” são os parâmetros empíricos de ajuste do modelo. Por meio dessa equação foi possível determinar o valor crítico de θ para que a RP não ultrapassasse 2,0 MPa (θ_{RP}), em função da Ds . Para isso, substitui-se RP na equação pelo valor de 2,0 MPa, considerado como limitante para efeito de cálculo do IHO.

O valor de θ_{PA} foi obtido aplicando o modelo do tipo $[\theta_{PA} = (1 - (Ds/Dp)) - 0,10]$, em que θ_{PA} é o teor de água volumétrico do solo em que a porosidade de aeração é de 0,10 $m^3 m^{-3}$; Ds é a densidade do solo ($Mg m^{-3}$); Dp é a densidade de partículas ($Mg m^{-3}$), sendo adotado o valor de 2,65 $Mg m^{-3}$ como densidade média de partículas.

Na determinação dos limites superiores do IHO, considerou-se o θ_{CC} , ou aquele em que a θ_{PA} é considerada adequada ao crescimento e desenvolvimento da cultura. Como limites inferiores foram considerados o θ_{PMP} ou aquele correspondente à θ_{RP} limitante ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Após o cálculo dos limites superiores e inferiores do IHO, determinou-se a densidade crítica do solo (Dsc), que é a densidade do solo em que o IHO se iguala a zero, ou seja, quando o limite superior do IHO equivale numericamente ao limite inferior (SILVA et al., 1994).

Os ajustes dos modelos matemáticos e obtenção dos parâmetros “a”, “b”, “c”, “d”, “e” e “f”, foram realizados pelo método de regressão não linear, por meio do programa computacional Statistica 7.0 (STATSOFT, 2007). Apesar da carência de aplicação do referido modelo em dados de pressão de preconsolidação em função da Densidade e Umidade, a sua utilização baseia-se na forte relação entre σ_p e R_p indicando comportamento físico semelhante das duas variáveis (SEVERIANO et al., 2010b).

As curvas ajustadas de retenção de água apresentaram coeficientes de determinação (R^2) que foram submetidos ao teste F de acordo com Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012).

Após a determinação da resistência à penetração, estas foram levadas para o consolidômetro automático, modelo CNTA-IHM/BR-001/07, para o ensaio de compressão uniaxial de acordo com Bowles (1986) e modificado por Dias Junior (1994). As pressões crescentes aplicadas a cada amostra foram: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa, sendo cada uma aplicada até que 90 % da deformação máxima fosse alcançada (Taylor, 1948). Após cada ensaio de compressão uniaxial, as amostras foram levadas à estufa a 105-110 °C por 48 h, para determinar o conteúdo de água, a densidade do solo pelo método do anel volumétrico e a microporosidade conforme Donagema et al. (2011).

A curva de compressão do solo foi obtida utilizando-se o método proposto por Dias Junior e Pierce (1995). A seguir, as capacidades de suporte de carga (σ_p) com os valores de conteúdo de água (θ) foram ajustadas uma regressão exponencial decrescente do tipo [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$], proposto por Dias Junior (1994), determinando-se os modelos de capacidade de suporte de carga do solo CSC. As letras “a” e “b” representam os coeficientes empíricos de ajuste do modelo, ou seja, o coeficiente linear e angular, respectivamente. As comparações entre os modelos foram feitas utilizando o teste de homogeneidade de modelos lineares descrito em Snedecor e Cochran (1989). Para obtenção dos modelos lineares a partir do modelo exponencial [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$], aplicou-se o logaritmo nos valores de pressão de preconsolidação, resultando em uma equação do tipo $\log \sigma_p = a + b\theta$. O teste de homogeneidade de modelos lineares considera dois modelos, e estes são comparados pela análise do intercepto “a”, do coeficiente angular “b” e homogeneidade dos dados (F).

As curvas ajustadas de capacidade de suporte de cargas apresentaram coeficientes de determinação (R^2) que foram submetidos ao teste F de acordo com Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se que houve redução da densidade do solo (Ds) e aumento da macroporosidade (Macro) com a utilização das culturas potencialmente renovadoras de canavial, nas duas profundidades estudadas, em semeadura direta, no momento da renovação do canavial (Quadro 1).

Quadro 1. Análise de variância e valores médios de densidade (Ds) e macroporosidade (Macro), nas profundidades de 0,15 e 0,25 m, de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a semeadura direta, no momento da renovação do canavial em rotação com culturas alternativas

Tratamentos	Ds (Mg m^{-3})		Macro ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	
	0,15 m		0,25 m	
<i>Crotalaria Ochroleuca</i>	1,46 b	0,06 bc	1,42 ab	0,12 a
<i>Crotalaria Juncea</i>	1,42 c	0,08 abc	1,42 ab	0,12 a
Girassol	1,38 d	0,10 ab	1,35 c	0,13 a
Pousio	1,50 a	0,06 c	1,48 a	0,12 a
Soja	1,39 d	0,10 ab	1,37 c	0,14 a
Sorgo	1,38 d	0,11 a	1,36 c	0,14 a
F	50,19**	5,59**	9,40**	1,41 ^{ns}
CV%	1,12	22,62	2,60	10,73

Médias na coluna, seguidas de mesma letra, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com a floculação da argila ocorre a formação dos agregados do solo, sendo mais benéficos para estrutura do solo os agregados maiores que 2 mm. A manutenção de agregados maiores que 2 mm e estáveis esta diretamente ligada ao aporte de material vegetal, que pela ação dos microrganismos se decompõem em diferentes composto orgânicos. Tais compostos, atuam como agentes cimentantes dos agregados do solo, o que os confere maior estabilidade. Neste contexto o material vegetal adicionado ao solo diminui a densidade do solo, por ser mais leve que as partículas minerais do solo e altera a sua estrutura por atuar na agregação do solo, que consequentemente altera a macroporosidade.

O solo da área experimental vinha sendo cultivado por seis anos com cana-de-açúcar, e no momento da implantação dos tratamentos em semeadura direta continha 17 Mg ha^{-1} de massa seca na superfície do solo provenientes da cultura da cana, o que juntamente com aporte de material vegetal das culturas potencialmente renovadoras de canavial, explica a diferenças entre as densidades do solo e macroporosidade entre as culturas estudadas (Quadro 1).

A profundidade de 0,15 m apresentou a maior densidade com o tratamento em pousio com, valor de $1,50 \text{ Mg m}^{-3}$, sendo estatisticamente diferente das demais rotações. As menores densidades foram encontradas nas culturas de girassol, soja e sorgo (Quadro 1). Para a profundidade de 0,25 m a densidade também foi maior no tratamento em pousio, diferindo estatisticamente das demais. As menores densidades foram observadas nas culturas de girassol, soja e sorgo.

Na profundidade de 0,15 m o solo apresentou maior macroporosidade para a cultura do sorgo, com valor de $0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sendo estatisticamente igual nas culturas *Crotalaria Juncea*, girassol e soja. Os menores valores de macroporosidade podem ser observados no tratamento em pousio e na cultura com *Crotalaria Ochroleuca*. Para a profundidade de 0,25 m as culturas não apresentaram diferença estatística (Quadro 1).

Neste contexto Lima Filho et al. (2014) destacam que a matéria orgânica incorporada ao solo proveniente da utilização de plantas de coberturas reflete positivamente em atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

Para Braida et al. (2006) e Araujo-Junior et al. (2011) e Prado et al. (2014) o fornecimento e a manutenção da elevada quantidade de material orgânico no solo são importantes para os sistemas de produção, pois este material em decomposição é composto por uma série de ácidos orgânicos de baixo peso molecular que, aumenta o teor de matéria do solo, proporcionando melhoria da sua estrutura, com diminuição da densidade do solo e aumento da aeração, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular. O que está de acordo com Lima-Filho et al. (2014) que ressaltam que matéria orgânica adicionada ao solo, embora apresente diversos estados de decomposição e de estabilização, é sempre um material mais leve do que as partículas minerais do solo. Essa adição provoca um efeito de diluição do peso e um aumento do volume de poros. No mesmo sentido Garcia (2010) ressalta que a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo também é de fundamental importância na capacidade do solo em receber cargas sem sofrer deformações.

Assim a massa seca proveniente do cultivo da cana pode ter influenciado os resultados do intervalo hídrico ótimo e da pressão de preconsolidação. Os diferentes aportes de conteúdo vegetal disponibilizados ao solo, com o uso de diferentes culturas, mostram importantes alterações dos atributos físicos do solo como densidade (Ds) e macroporosidade (Macro).

Todas as curvas ajustadas, tanto de retenção de água (Quadros 2 e 3) como de resistência do solo à penetração (Quadros 4 e 5), apresentaram coeficientes de

determinação (R^2) significativos a 1% pelo teste F. Com base no proposto por Grantz e Slinker (1990); Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012) sendo possível afirmar que os coeficientes do ajuste da curva de retenção de água do solo (Quadros 2 e 3) foram estatisticamente significativos, pois o intervalo de confiança dos coeficientes não inclui o valor igual a zero, exceto o coeficiente “b” na profundidade de 0,15 m e 0,25 m, em todos os tratamentos (Quadro 2 e 3). Como também observado por Tormena et al. (1998); Klein e Camara (2007); Calonego e Rosolem (2011); Betioli Júnior et al. (2012) e Lima et al. (2012).

QUADRO 2. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de retenção de água no solo [$\theta = \exp(a+bDs)\Psi^c$], com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0,15 m de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a semeadura direta, no momento da renovação do canavial em rotação com culturas alternativas.

Coeficientes	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
<i>C. Ochroleuca</i>						
a	-0,937557	-1,09541	-0,779702	-1,10423	-1,30842	-0,900047
b	-0,103691	-0,21100	0,003619	0,03242	-0,11733	0,182164
c	-0,030496	-0,03529	-0,025703	-0,02733	-0,03325	-0,021407
R^2	0,85**			0,76**		
Girassol						
a	-0,959050	-1,20116	-0,716939	-1,12575	-1,36022	-0,891277
b	-0,088599	-0,26000	0,082807	0,05305	-0,10606	0,212159
c	-0,029662	-0,03477	-0,024555	-0,03294	-0,03864	-0,027249
R^2	0,82**			0,82**		
Soja						
a	-0,982811	-1,06683	-0,898795	-1,00885	-1,13415	-0,883546
b	-0,025062	-0,08275	0,032623	-0,00674	-0,09389	0,080413
c	-0,030915	-0,03513	-0,026698	-0,03128	-0,03523	-0,027326
R^2	0,88**			0,89**		
<i>C. Juncea</i>						
a	-0,937557	-1,09541	-0,779702	-1,10423	-1,30842	-0,900047
b	-0,103691	-0,21100	0,003619	0,03242	-0,11733	0,182164
c	-0,030496	-0,03529	-0,025703	-0,02733	-0,03325	-0,021407
R^2	0,85**			0,76**		
Pousio						
a	-0,959050	-1,20116	-0,716939	-1,12575	-1,36022	-0,891277
b	-0,088599	-0,26000	0,082807	0,05305	-0,10606	0,212159
c	-0,029662	-0,03477	-0,024555	-0,03294	-0,03864	-0,027249
R^2	0,82**			0,82**		
Sorgo						
a	-0,982811	-1,06683	-0,898795	-1,00885	-1,13415	-0,883546
b	-0,025062	-0,08275	0,032623	-0,00674	-0,09389	0,080413
c	-0,030915	-0,03513	-0,026698	-0,03128	-0,03523	-0,027326
R^2	0,88**			0,89**		

θ : teor de água no solo ($m^3 m^{-3}$); Ds : densidade do solo ($Mg m^{-3}$); Ψ : potencial de água no solo (MPa); Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95%, respectivamente; ** significativo pelo teste “F” a 1%.

QUADRO 3. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de retenção de água no solo [$\theta = \exp(a+bDs)\Psi^c$], com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0,25 m de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a semeadura direta, no momento da renovação do canavial com culturas alternativas.

Coeficientes	Intervalo de confiança	Intervalo de confiança
--------------	------------------------	------------------------

	Valor estimado	Li	Ls	Valor estimado	Li	Ls
	<i>C. Ochroleuca</i>			<i>C. Juncea</i>		
a	-0,961514	-1,07859	-0,844438	-0,953597	-1,09542	-0,811769
b	-0,041686	-0,12373	0,040357	-0,022483	-0,12081	0,075845
c	-0,035542	-0,03924	-0,031839	-0,027493	-0,03109	-0,023899
R ²	0,92**			0,88**		
	Girassol			Pousio		
a	-0,984452	-1,17401	-0,794896	-1,02597	-1,18306	-0,868882
b	-0,017514	-0,15537	0,120340	0,02635	-0,08225	0,134947
c	-0,028161	-0,03271	-0,023611	-0,02737	-0,03059	-0,024157
R ²	0,84**			0,91**		
	Soja			Sorgo		
a	-0,941382	-1,09740	-0,785368	-1,04616	-1,16266	-0,929671
b	-0,041683	-0,15212	0,068751	0,03110	-0,05140	0,113589
c	-0,024667	-0,02948	-0,019851	-0,02511	-0,02915	-0,021062
R ²	0,80**			0,84**		

θ : teor de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Ds: densidade do solo (Mg m^{-3}); Ψ : potencial de água no solo (MPa); Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95%, respectivamente; ** significativo pelo teste “F” a 1%.

A curva de retenção de água é influenciada pela densidade, emanada de sua influência na porosidade total, com alocação dos tamanhos dos poros (TORMENA et al., 1998). Deste modo com o aumento na proporção de poros de menor diâmetro, estes tornam-se mais eficientes na retenção de água em elevados potenciais (BLAINSKI et al., 2012). Em baixos potenciais, a influência da Ds sobre a curva de retenção de água pode ser atribuída à maior massa de sólidos com elevada superfície de adsorção, uma vez que a compactação geralmente não altera a microporosidade dentro dos agregados (BLAINSKI et al., 2009). Esses resultados estão de acordo com os resultados obtidos por Willians et al. (1993); Silva et al. (1994); Imhoff et al. (2001); Leão et al. (2004); Bergamin (2012) e Pereira (2014).

Nos Quadros 4 e 5 são apresentados os coeficientes de ajustes da curva de resistência do solo à penetração. O intervalo de confiança dos coeficientes “e” do ajuste da curva de resistência do solo à penetração não inclui o valor igual a zero, possibilitando afirmar que estes foram estatisticamente significativos (Quadros 4 e 5), como descrito por Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012).

QUADRO 4. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta^e Ds^f$), com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0,15 m de um Latossolo Vermelho distroférrico, submetido a semeadura direta, no momento da renovação do canavial com culturas alternativas.

Coeficientes	Intervalo de confiança	Intervalo de confiança
--------------	------------------------	------------------------

	Valor estimado	Li	Ls	Valor estimado	Li	Ls
	<i>C. Ochroleuca</i>			<i>C. Juncea</i>		
d	0,00152	-0,00060	0,00365	0,00705	-0,01589	0,02998
e	-7,11147	-8,55151	-5,67143	-5,64023	-8,50923	-2,77123
f	0,42475	-0,77178	1,62128	-0,01393	-2,64631	2,61846
R ²	0,82**			0,87**		
	Girassol			Pousio		
d	0,0001	-0,0002	0,00034	0,00243	-0,00192	0,00678
e	-11,1734	-14,5674	-7,77936	-6,97104	-8,91315	-5,02893
f	-3,4052	-7,4922	0,68172	0,27622	-2,25763	2,81006
R ²	0,73**			0,70**		
	Soja			Sorgo		
d	0,00555	-0,00193	0,01304	0,00317	-0,00102	0,00737
e	-6,38537	-7,78470	-4,98605	-6,80720	-8,05332	-5,56108
f	-0,17862	-0,96886	0,61163	0,35370	-0,60639	1,31378
R ²	0,75**			0,81**		

θ : teor de água no solo ($m^3 m^{-3}$); Ds: densidade do solo ($Mg m^{-3}$); Ψ : potencial de água no solo (MPa); Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95%, respectivamente; ** significativo pelo teste “F” a 1%.

Já o coeficiente “f” do ajuste da curva de resistência do solo à penetração foi significativo apenas nos modelos obtidos para os tratamentos com girassol, soja e sorgo, na profundidade de 0,25 m (Quadro 5), pois nestes tratamentos o intervalo de confiança não inclui o valor zero para o parâmetro “f”.

Já o coeficiente “d” do ajuste da curva de RP dos intervalos de confiança deste parâmetro apresentaram valores iguais a zero, não sendo significativos conforme Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012) (Quadro 4 e 5). Observou-se influência positiva da Ds e negativa de θ na curva de resistência do solo à penetração (Quadros 4 e 5), como já relatado por vários trabalhos (TORMENA et al., 2007; SERAFIM et al., 2008a; CALONEGO e ROSOLEM, 2011; BETIOLI JÚNIOR et al., 2012).

A relação positiva entre a densidade do solo com a resistência do solo à penetração pode ser atribuída ao efeito da compactação do solo, o que leva a um maior contato ou coesão entre as partículas sólidas (IMHOFF et al., 2001); TORMENA et al., 2007; BLAINSKI et al., 2012), enquanto a redução da resistência do solo à penetração com a θ deve-se a redução da coesão entre as partículas, devido ao efeito lubrificante da água (BLAINSKI et al., 2012).

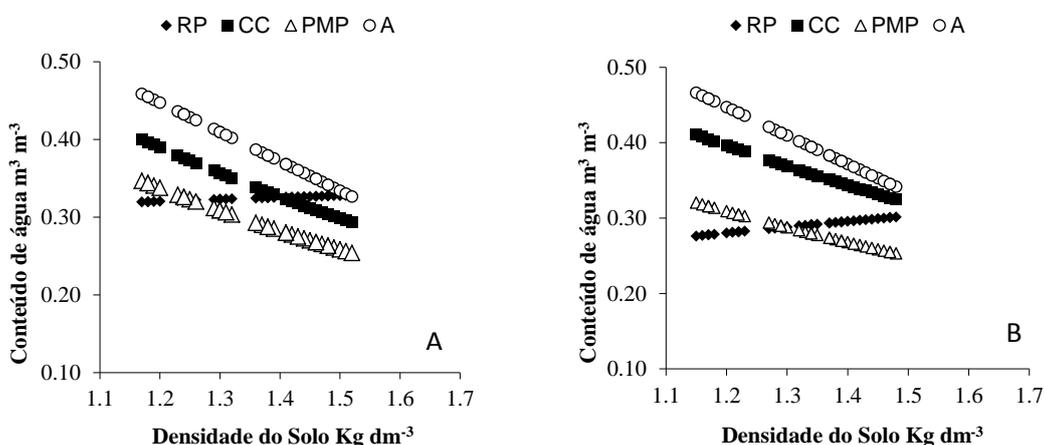
QUADRO 5. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta^e Ds^f$), com respectivos coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0,25 m de um Latossolo Vermelho distroférrico, submetido a semeadura direta, no momento da renovação do canavial com culturas alternativas.

Coeficientes	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
<i>C. Ochroleuca</i>				<i>C. Juncea</i>		
d	0,00236	-0,00132	0,00603	0,00351	-0,00238	0,00940
e	-7,35764	-8,92502	-5,79025	-7,39826	-8,99245	-5,80406
f	0,33790	-1,10688	1,78267	0,06971	-1,70076	1,84018
R ²	0,79**			0,78**		
Girassol				Pousio		
d	0,00030	-0,0015	0,00209	0,00236	-0,00040	0,00512
e	-5,15409	-14,7449	4,43669	-7,12974	-8,13627	-6,12320
f	10,60709	0,5533	20,66090	1,09452	-0,12305	2,31209
R ²	0,72**			0,89**		
Soja				Sorgo		
d	0,00003	-0,0001	0,00013	0,00015	-0,0006	0,00090
e	-9,14833	-12,2063	-6,09038	-6,50180	-14,2349	1,23130
f	6,89660	2,8498	10,94336	8,77210	0,7402	16,80397
R ²	0,78**			0,73**		

θ : teor de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$); Ds: densidade do solo (Mg m^{-3}); Ψ : potencial de água no solo (MPa); Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95%, respectivamente; ** significativo pelo teste "F" a 1%.

Na Figura 1 são apresentadas as variações das tensões matriciais os limites críticos correspondentes à capacidade de campo (-0,006 Mpa), representado pelo ponto de murcha permanente (-1,5 Mpa), à porosidade de aeração da $0,10 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$ e à resistência do solo à penetração das raízes de 2,0 MPa, para cada valor de densidade do solo, nos tratamentos avaliados na profundidade de 0,15 m.

Os valores de IHO foram maiores com o aumento da densidade do solo até a θ_{PA} substituir a θ_{CC} . Neste ponto, depara-se com o maior valor de água disponível. Resultados semelhantes são descritos por Bergamin (2012); Garbiate (2013) e Pereira (2014) ao trabalharem com Latossolo Vermelho distroférico, argiloso, obtiveram em seus experimentos aumento dos limites críticos de potenciais de água no solo, com aumento da densidade, até um certo ponto (Figura 1).



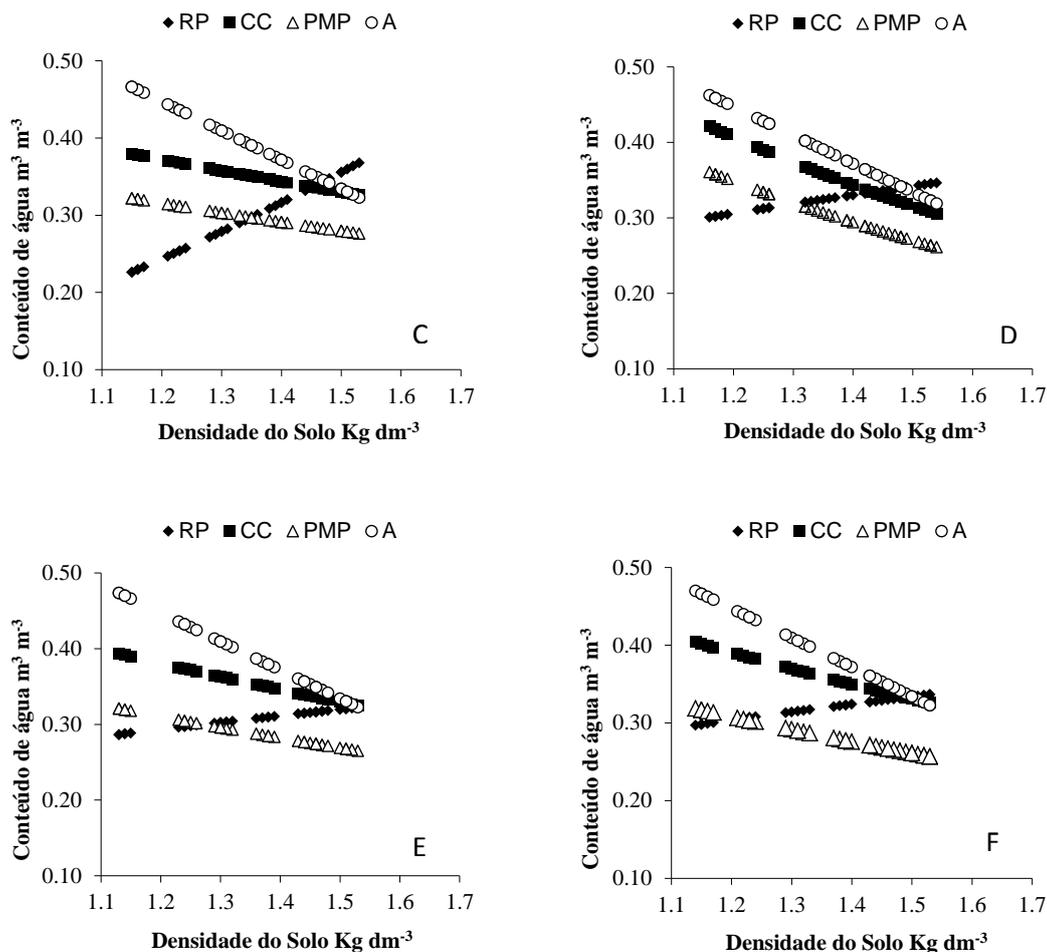


FIGURA 1. Variação do conteúdo de água na capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (θ_{PA}) e resistência do solo a penetração de $2,0 \text{ MPa}$ (θ_{RP}), em função da densidade de um Latossolo Vermelho distroférrico, submetido a semeadura direta, na profundidade de $0,15 \text{ m}$ após a renovação do canal com culturas alternativas. “A” *Crotalária Ochroleuca*; “B” *Crotalária Juncea*; “C” Girassol; “D” Pousio; “E” Soja e “F” Sorgo Sacarino.

Os valores de θ_{RP} aumentaram com a densidade do solo pelo fato de que para manter a $RP = 2,0 \text{ MPa}$ é necessário aumentar o teor de água do solo (θ), a fim de minimizar a maior fricção entre as partículas. Segundo Bergamin (2012) a maior fricção é resultante do aumento da densidade solo, enquanto com aumento da densidade do solo ocorre decréscimo de θ_{PA} , indicando a necessidade de maior drenagem do solo para manter o adequado suprimento de oxigênio, devido à redução nos macroporos.

Ao se verificar o intervalo hídrico ótimo (IHO) do solo com o plantio da *crotalária juncea* (Figura 1B), nota-se um maior intervalo de umidade até a densidade $1,4 \text{ g cm}^{-3}$ quando comparado aos demais tratamentos. Todos os seis tratamentos têm

como limite superior a θ_{CC} , até um valor de densidade próximo de $1,4 \text{ g cm}^{-3}$, quando o limite superior passa a ser a θ_{PA} , para a profundidade de 0,15 m. Estes resultados estão de acordo com Garbiate (2013), que obteve como limite superior do IHO em Latossolo Vermelho distroférico argiloso, a umidade na capacidade de campo até em torno de $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ de densidade e após isso obteve como limite superior o teor de água na porosidade de aeração. Resultados estes que diferem dos relatados por Garcia (2010), que teve como limite superior o teor de água na capacidade de campo em toda a faixa de densidade, ao trabalhar com diferentes rotações de culturas por 3 anos. A substituição de θ_{CC} pelo θ_{PA} como o limite superior do IHO é comum em solos argilosos, devido à baixa macroporosidade (Quadro 1), como também relatado por Calonego e Rosolem (2011). Para Blaisnk et al. (2009) a redução da porosidade de aeração prejudica o crescimento e desenvolvimento vegetal pela reduzida difusão de oxigênio. Em solos compactados, com solo úmido a θ_{PA} pode restringir o IHO (LAPEN et al., 2004).

Em relação ao limite inferior, todos os tratamentos foram limitados pelo ponto de murcha permanente na profundidade de 0,15 m, o que mostra a eficiência da semeadura direta de culturas potencialmente renovadoras de canaviais para redução da resistência a penetração (RP) (Figura 1). A densidade crítica do solo (DSc), que corresponde a densidade onde o intervalo hídrico é nulo ou zero (SILVA et al., 1994), ocorreu para valores de densidade do solo em torno de $1,53 \text{ g cm}^{-3}$, para os tratamentos que utilizaram de *crotalaria ochroleuca*, pousio, soja e sorgo (Figura 1A, 1C, 1D e 1F). Os tratamentos, *crotalaria juncea*, e girassol, não atingiram valores de densidade crítica.

As variações dos potências matriciais dos limites críticos correspondentes à capacidade de campo ($-0,006 \text{ Mpa}$), ponto de murcha permanente ($-1,5 \text{ MPa}$), porosidade de aeração da $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e à resistência do solo à penetração das raízes de $2,0 \text{ Mpa}$, para cada valor de densidade do solo estão inseridos na figura 2.

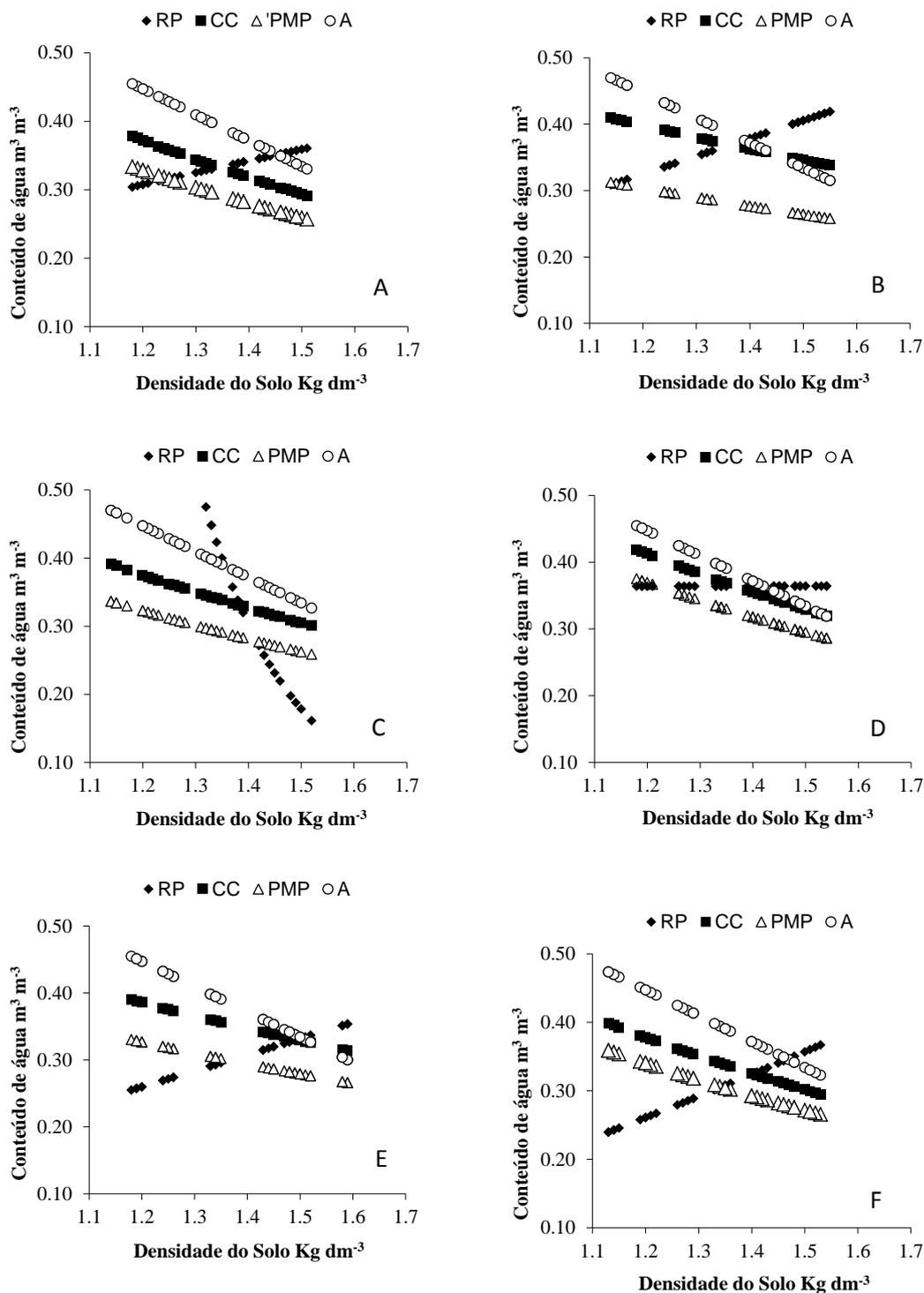


FIGURA 2. Variação do conteúdo de água na capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (θ_{PA}) e resistência do solo a penetração de $2,0 \text{ MPa}$ (θ_{RP}), em função da densidade de um Latossolo Vermelho distroférrico, submetido a semeadura direta, na profundidade de $0,25 \text{ m}$, após a renovação do canal com culturas alternativas. “A” *Crotalária Ochroleuca*; “B” *Crotalária Juncea*; “C” Girassol; “D” Pousio; “E” Soja e “F” Sorgo Sacarino.

Para a profundidade de 0,25 m, constata-se uma disposição de aumento no IHO com o aumento da densidade do solo até a θ_{RP} substituir a θ_{PMP} ou a θ_{PA} substituir a θ_{CC} . Neste ponto, depara-se com o maior valor de água disponível. Sendo o aumento da densidade benéfico para o aumento da retenção de água (Figura 2).

Nas duas profundidades o limite superior do intervalo hídrico ótimo foi a capacidade de campo até a densidade de $1,44 \text{ g cm}^{-3}$, acima desse valor de densidade o limite superior foi substituído pelo teor de água na porosidade de aeração em todos os tratamentos utilizados (Figura 2). O que está de acordo com os resultados obtidos por Blainski et al. (2009), que ao trabalharem em um solo argiloso, somente com uma densidade de $1,38 \text{ g m}^{-3}$ a θ_{PA} substituiu a θ_{CC} . Segundo Kaiser et al. (2009), quando o IHO passa a ser reduzido em seu limite superior pelo conteúdo de água na porosidade de aeração, indica que os macroporos foram modificados por processos compressivos. Sendo que sua diminuição pode limitar as trocas gasosas do solo, já que uma das suas principais funções é a aeração do solo, o que pode prejudicar o crescimento das plantas.

De maneira semelhante, na profundidade de 0,25 m o limite inferior, de todos os tratamentos foi o teor de água no ponto de murcha permanente. O que mostra a eficiência da semeadura direta de culturas potencialmente renovadoras de canaviais para redução da resistência a penetração (RP) (Figura 2).

A densidade crítica do solo (DSc), que corresponde a densidade onde o intervalo hídrico é nulo ou zero (SILVA et al., 1994), ocorreu na densidade do solo em torno de $1,52 \text{ g cm}^{-3}$, para os tratamentos que se utilizaram de *crotalária ochroleuca*, girassol, pousio, soja e sorgo (Figura 2A, 2C, 2D, 2E e 1F). O tratamento, com *crotalária juncea*, não atingiu o valor de densidade crítica. Para o tratamento com *crotalária juncea* o intervalo hídrico ótimo se estendeu até aproximadamente a densidade de $1,55 \text{ g cm}^{-3}$. A maior faixa de intervalo hídrico ótimo foi nos tratamentos com *crotalária juncea* e pousio para a profundidade de 0,25 m (Figura 2B e 2E).

Todas as curvas ajustadas dos modelos de CSC apresentaram coeficientes de determinação (R^2) significativos a 1 % pelo teste F e variaram de 0,75 a 0,86 (Quadro 6). Imhoff et al. (2001) propuseram a utilização do ajuste linear para σ_p em função da umidade e densidade. Contudo, a variação do conteúdo de água no solo, no trabalho, foi do ponto de murcha permanente até próximo da capacidade de campo, nesse intervalo de umidade, a σ_p decresce linearmente com o incremento de umidade (SEVERIANO et al., 2010b). Porém, quando o solo se encontra sob conteúdos superiores à capacidade de campo, essa relação é exponencial, o que justifica o uso do ajuste não linear proposto

(BUSSCHER, 1990). Apesar da carência de aplicações do referido ajuste na modelagem do comportamento compressivo do solo, a aceitação dessa proposta é baseada na significância das regressões (SEVERIANO et al., 2010b). Neste contexto o intervalo de confiança dos coeficientes do ajuste dos modelos de CSC não inclui o valor igual a zero, possibilitando afirmar que estes foram estatisticamente significativos (Quadro 6), como descrito por Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012).

QUADRO 6. Estimativas dos coeficientes “a” e “b” dos modelos de capacidade de suporte de carga do solo [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$], com respectivos coeficientes de determinação (R^2) e número de amostras (n), coletadas em duas profundidades de um Latossolo Vermelho distroférrico, submetida a semeadura direta, no momento da renovação do canavial com culturas alternativas.

Tratamentos	a		b		R^2		
	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado		Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls	
0,15 m							
<i>C. Ochroleuca</i>	4,90	4,52	5,27	-6,79	-7,86	-5,73	0,86**
<i>C. Juncea</i>	4,15	3,83	4,48	-4,69	-5,58	-3,80	0,80**
Girassol	4,81	4,34	5,29	-6,58	-7,92	-5,24	0,79**
Pousio	5,40	4,95	5,84	-7,65	-8,83	-6,47	0,86**
Soja	5,09	4,52	5,65	-7,06	-8,59	-5,53	0,75**
Sorgo	5,09	4,66	5,52	-6,90	-8,04	-5,76	0,84**
0,25 m							
<i>C. Ochroleuca</i>	4,07	3,81	4,32	-4,10	-4,75	-3,45	0,84**
<i>C. Juncea</i>	5,07	4,68	5,45	-6,58	-7,57	-5,59	0,86**
Girassol	5,91	5,33	6,50	-9,09	-10,64	-7,54	0,84**
Pousio	5,50	4,98	6,01	-7,61	-8,94	-6,29	0,84**
Soja	5,01	4,55	5,47	-6,59	-7,79	-5,39	0,81**
Sorgo	6,07	5,43	6,70	-9,45	-11,12	-7,78	0,83**

Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança 95 %, respectivamente; ** significativo pelo teste “F” a 1 %.

Para avaliar as possíveis alterações da estrutura do solo causadas pelas diferentes culturas potencialmente renovadoras de canavial, os modelos de CSC foram comparados utilizando o teste de homogeneidade de modelos lineares (SNEDECOR e COCHRAN, 1989) nas diferentes profundidades, dentro de cada rotação. Os modelos de CSC para as profundidade de 0,15 e 0,25 m foram não homogêneos, como descrito em Quilici (2006), em razão disso estas profundidades apresentam CSC diferentes (Quadro 7).

QUADRO 7. Teste de significância de acordo com Snedecor e Cochran (1989) entre os modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$] das profundidades de 0,15 e 0,25 m de um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a semeadura direta, no momento da renovação do canavial em rotação com culturas alternativas.

Tratamentos	Profundidade (m)	F	F	F
			Coefficiente angular, b	Coefficiente linear, a
<i>C. Ochroleuca</i>	0,15 vs 0,25	NH	*	**
<i>C. Juncea</i>	0,15 vs 0,25	NH	**	**
Girassol	0,15 vs 0,25	NH	**	**
Pousio	0,15 vs 0,25	NH	**	**
Soja	0,15 vs 0,25	NH	ns	*
Sorgo	0,15 vs 0,25	NH	**	**

F: testa a homogeneidade dos dados; b: coeficiente angular da regressão linearizada; a: intercepto da regressão linearizada; H: homogêneo; NH: não homogêneo; ns: não significativo; * e ** significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

Os resultados de não homogeneidade se devem a uma elevação no contato entre as partículas do solo, o que gera maior atrito interno no solo e aumento dos valores de pressão de preconsolidação, em consequência da elevada densidade inicial do solo na profundidade de 0,25 m (Quadro 1). Severiano et al. (2010a) preocupados com a diminuição da entressafra cana-de-açúcar e conseqüentemente aumento da colheita em época chuvosa, trabalharam com a modelagem do processo de compressão do solo com base na pressão crítica, avaliando os efeitos da colheita mecanizada da cana-de-açúcar em diferentes épocas da safra em um Latossolo Vermelho-Amarelo, obtiveram resultados não homogêneos para os modelos de CSC.

Para Araujo-Junior et al. (2011) na camada mais superficial do solo há maior conteúdo de carbono orgânico no solo que proporciona maior elasticidade ao solo. Para os autores, com a liberação das tensões, o solo com maior conteúdo de carbono orgânico tende a ter maior resiliência ou recuperação da estrutura, refletindo em menor resistência mecânica avaliada pelos modelos de CSC.

Para as comparações dos modelos de CSC das culturas potencialmente renovadoras de canavial, nas profundidades de 0,15 e 0,25 m, que não se diferenciaram, foi ajustado uma única equação a todos os valores de σ_p e θ , formando assim um único modelo de CSC (Quadro 8).

QUADRO 8. Teste de significância de acordo com Snedecor e Cochran (1989) entre os modelos de capacidade de suporte de carga [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$] de um Latossolo

Vermelho distroférico, nas profundidades de 0,15 e 0,25 m, submetido a semeadura direta, no momento da renovação do canal em rotação com culturas alternativas.

Tratamentos	F	F	
		Coeficiente angular, b	Coeficiente linear, a
0,15 m			
<i>C. Ochroleuca</i> vs <i>C. Juncea</i>	NH	ns	ns
<i>C. Ochroleuca</i> vs Girassol	H	ns	ns
<i>C. Ochroleuca</i> vs Pousio	H	ns	ns
<i>C. Ochroleuca</i> vs Soja	NH	ns	**
<i>C. Ochroleuca</i> vs Sorgo	H	ns	ns
<i>C. Juncea</i> vs Girassol	NH	**	**
<i>C. Juncea</i> vs Pousio	H	**	**
<i>C. Juncea</i> vs Soja	NH	**	**
<i>C. Juncea</i> vs Sorgo	NH	**	**
Girassol vs Pousio	NH	**	**
Girassol vs Soja	NH	**	**
Girassol vs Sorgo	NH	**	**
Pousio vs Soja	NH	**	**
Pousio vs Sorgo	NH	**	**
Soja vs Sorgo	H	ns	ns
0,25m			
<i>C. Ochroleuca</i> vs <i>C. Juncea</i>	NH	ns	*
<i>C. Ochroleuca</i> vs Girassol	H	ns	ns
<i>C. Ochroleuca</i> vs Pousio	H	ns	*
<i>C. Ochroleuca</i> vs Soja	NH	ns	**
<i>C. Ochroleuca</i> vs Sorgo	H	ns	ns
<i>C. Juncea</i> vs Girassol	NH	**	**
<i>C. Juncea</i> vs Pousio	NH	**	**
<i>C. Juncea</i> vs Soja	H	ns	ns
<i>C. Juncea</i> vs Sorgo	NH	**	**
Girassol vs Pousio	NH	**	**
Girassol vs Soja	NH	ns	**
Girassol vs Sorgo	NH	**	**
Pousio vs Soja	NH	ns	ns
Pousio vs Sorgo	NH	**	**
Soja vs Sorgo	NH	**	**

F: testa a homogeneidade dos dados; b: coeficiente angular da regressão linearizada; a: intercepto da regressão linearizada; H: homogêneo; NH: não homogêneo; ns: não significativo; * e ** significativo a 5 e 1 %, respectivamente.

Ocorreu diferença entre os modelos de CSC em pelo menos um dos parâmetros, homogeneidade dos dados, coeficiente angular e linear, quando foram

comparados dois a dois, segundo descrito por Snedecor e Cochran (1989), não foram realizados agrupamentos (Figura 3).

Em todos os modelos de CSC das rotações de culturas estudadas, observou-se que a σ_p variou significativa e inversamente com a θ (Figuras 3 e 4). A σ_p do solo tornou-se maior à medida que o solo fica mais seco, isso acontece porque a água atua de duas formas sobre a resistência do solo ao cisalhamento: diminui a coesão entre as partículas sólidas; e forma filmes sobre as partículas sólidas, reduzindo o atrito entre elas (PACHECO e CANTALICE, 2011). O que está de acordo com Silva et al. (2006) que relataram que quando o solo seca a (σ_p) pressão de preconsolidação aumenta exponencialmente com a redução da umidade, aumentando sua capacidade de suporte de carga do solo, o que proporciona um menor risco de ocorrência de compactação. Houve um decréscimo exponencial da σ_p com o aumento da θ (Figuras 3). Essa dinâmica na compressibilidade do solo também foi descrita por Dias Junior (1994); Debiase et al. (2008); Araujo-Junior et al. (2011); Pais et al. (2011); Pires et al. (2012) e Souza et al. (2012).

Pode-se observar que a CSC do solo na profundidade de 0,15 m segue a seguinte ordem, *C. juncea+c. Ochroleuca*+Girassol+Pousio+Sorgo > Soja+Sorgo (Figura 3). A maior CSC foi encontrada para o solo sob soja+sorgo, ao longo de quase todo o intervalo de umidade (Figura 3).

Na profundidade de 0,15 m a CSC do solo foi mais elevada do que na profundidade de 0,25 m em todos os agrupamentos das culturas e com isso os valores de umidade volumétrica crítica aumentaram para os manejos (Figura 3).

Levando em consideração a pressão média de 450 KPa aplicada por um conjunto de reboque e caminhão, utilizados no manejo da cana-de-açúcar de acordo com Oliveira et al. (2003), as umidades críticas, para a profundidade de 0,15 m, nos agrupamentos com, *C. juncea+c. Ochroleuca*+Girassol+Pousio+Sorgo > Soja+Sorgo foram de 0,31 e 0,34 $m^3 m^{-3}$ respectivamente.

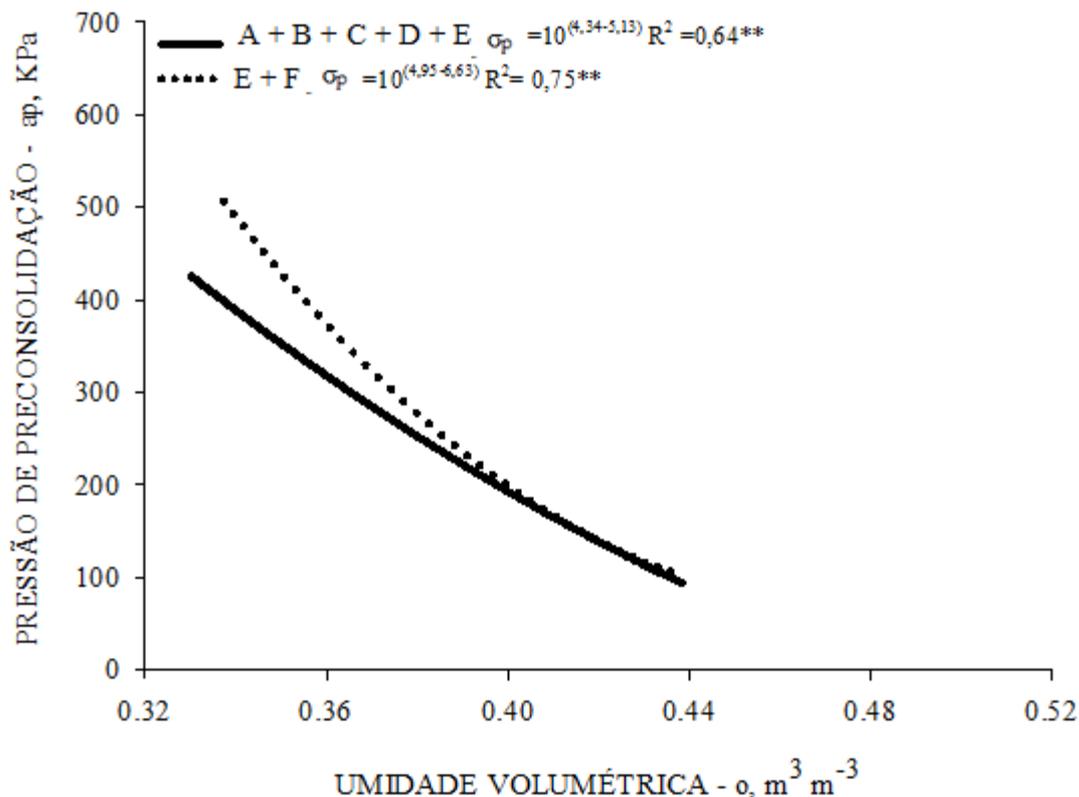


FIGURA 3. Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a semeadura direta, na profundidade de 0,15 m, após a renovação do canavial com culturas alternativas. “A” *Crotalaria Ochroleuca*; “B” *Crotalaria Juncea*; “C” Girassol; “D” Pousio; “E” Soja e “F” Sorgo Sacarino.

Na profundidade de 0,25 m não ocorreu tendência de aumento na CSC do solo em relação a profundidade de 0,25 m (Figura 4). Os valores das umidades críticas para as culturas na profundidade de 0,25 m não foram estabelecidos, por ser necessário apenas considerar a camada menos resistente à compactação para os manejos utilizados (ARAÚJO-JUNIOR et al., 2011); (BERGAMIN, 2012).

Para CSC do solo na profundidade de 0,25 m segue a seguinte ordem, *C. juncea*+Girassol+sorgo > *C. ochroleuca*+soja > Pousio+soja (Figura 4). A maior CSC foi encontrada para o solo com *C. juncea*+Girassol+sorgo, até a umidade de $0,37 m^3 m^{-3}$, após a maior CSC foi o agrupamento com pousio+soja até $0,42 m^3 m^{-3}$, após esta umidade o maior valor de CSC é encontrado para o agrupamento com *C. ochroleuca*+soja (Figura 4).

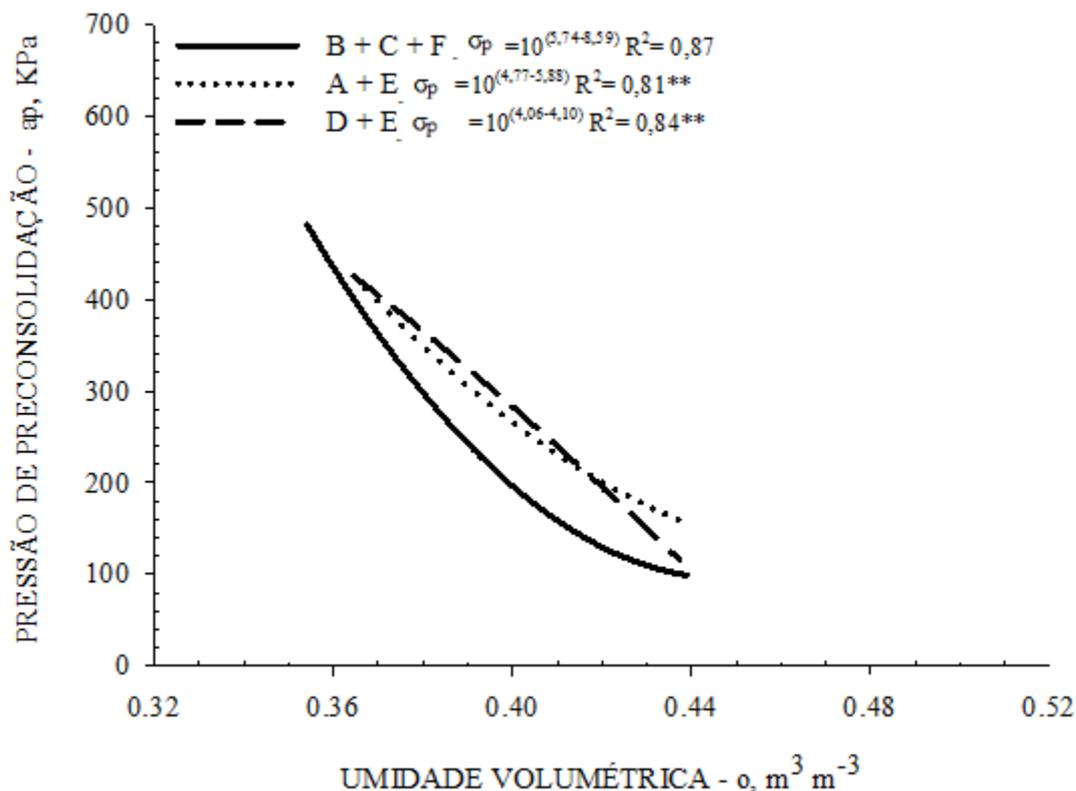


FIGURA 4. Modelos de capacidade de suporte de carga para um Latossolo Vermelho distroférico, submetido a semeadura direta, na profundidade de 0,25 m, após a renovação do canavial com culturas alternativas. “A” *Crotalaria Ochroleuca*; “B” *Crotalaria Juncea*; “C” Girassol; “D” Pousio; “E” Soja e “F” Sorgo Sacarino.

Notadamente a utilização de espécies potencialmente renovadoras de canavial, altera a estrutura do solo. Amplia o intervalo hídrico ótimo, a densidade crítica em que o intervalo hídrico é igual a zero e aumenta a capacidade de suporte de carga do solo para uma determinada umidade. Estas melhorias certamente advêm de benefícios decorrentes do sistema de semeadura direta, que tem como objetivo principal, manter o solo coberto ao longo do ano e sem revolvimento.

Neste contexto a escolha de espécies vegetais para a composição de culturas com as espécies comerciais, é uma alternativa para manter ou melhorar a qualidade física do solo, com o uso de plantas com crescimento radicular volumoso e vigoroso, além de elevada produção de fitomassa da parte aérea (GARCIA, 2010).

As gramíneas como o sorgo produzem sistema radicular volumoso com grande capacidade de explorar o perfil do solo, e após sua morte formar bioporos. Já espécies com sistema radicular pivotante como as crotalárias, produzem menor quantidade de bioporos, apesar de possuírem maior capacidade de romper camadas

compactadas (GARCIA, 2010). Para Kappes et al. (2013) avaliando a influência da *crotalaria juncea* em sistemas de manejo do solo por 2 anos, obtiveram 6,2 Mg ha⁻¹ de acúmulo médio de matéria seca, resultado que não é muito elevado.

CONCLUSÕES

O cultivo *Crotalaria juncea* aumenta a disponibilidade hídrica dada pelo intervalo hídrico ótimo no perfil do solo.

O cultivo de sorgo em semeadura direta, na profundidade de 0,15 m apresentou as maiores capacidades de suporte de carga, quando comparado os outros tratamentos.

O cultivo de *crotalaria juncea* sob sistema de semeadura direta na renovação do canavial proporcionou melhor qualidade física no perfil do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S.L.; REICHERT, J.M. & REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 28, p. 519-531, 2004.
- ARAÚJO–JUNIOR, C.F.; DIAS JUNIOR, M.S.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALCÂNTARA, E.N. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.115-131, 2011.
- BERGAMIN, A.C. **Indicadores da qualidade estrutural de um Latossolo cultivado com oleaginosas em sistema de sucessão com soja e milho**. 2012. 129 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.
- BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; FRANCHINI, J.C.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, F.R. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.681-691, 2010a.
- BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; LEMPP, B.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, F.R. Anatomia radicular de milho em solo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.299-305, 2010b.
- BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W.E.; TORMENA, C.A.; FERREIRA, C.J.B.; SILVA, A.P.; GIAROLA, N.F.B. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.971-982, 2012.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P. Intervalo hídrico ótimo e a produção de soja e arroz em dois Latossolos. **Irriga**, v.9, p.181-192, 2004.
- BOWLES, J.E. **Engineering properties of soils and their measurements**. 3.ed. Auckland: McGraw-Hill. 218p. 1986.
- BUSSCHER, W.J. Adjustment of that-tipped penetrometer resistance data to a common water content. **Transactions of the ASAE**, v.33, p.519-524, 1990.
- BLAINSKI, E.; GONÇALVES, A.C.A.; TORMENA, C.A.; FOLEGATTI, M.V.; GUIMARÃES, R.M.L. Intervalo hídrico ótimo num Nitossolo Vermelho distroférico irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.273-281, 2009.
- BLAINSKI, E.; TORMENA, C.A.; GUIMARÃES, R.M.L.; NANNI, M.R. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.79-87, 2012.

BRADFORD, J.M. Penetrability. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.463-478.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.605-614, 2006.

CALONEGO, J.C.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C.A.C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.2183-2190, 2011.

CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Least limiting water range in soil under crop rotations and chiseling. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.759-771, 2011.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R.; CONTE, O.; MAZURANA, M. Capacidade de suporte e compressibilidade de um Argissolo, influenciadas pelo tráfego e por plantas de cobertura de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2629- 2637, 2008. (Número Especial)

DIAS JUNIOR, M.S. **Compression of three soils under longterm tillage and wheel traffic**. 1994. 114 f. Tese (Doctoral Crop and Soil Science) - Michigan State University, East Lansing-MI.

DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. **Soil Technology**, v.8, p.139-151, 1995.

DONAGEMA, G.K. (2011) - **Manual de métodos de análise de solos**. 2ª ed. Revista. Rio de Janeiro, Embrapa solos, 212p.

FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; ARATANI, R.G. & BEUTLER, A.N. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo no crescimento da parte aérea e produtividade da cultura do milho. **Irriga**, v. 13, p. 272-287, 2008.

GARBIATE, M. V. **Qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho distroférrico submetido à escarificação pós colheita mecanizada de cana-de-açúcar**. 2013. 67 f. (Mestrado em Agronomia, Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

GARCIA, R. A. **Rotação de culturas e propriedades físicas e matéria orgânica de um latossolo**. 2010. 146 f. Tese (Doutorado em agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu - SP.

GUIMARÃES, R. M. L., TORMENA, C. A., BLAINSKI, É., FIDALSKI, J. Intervalo hídrico ótimo para avaliação da degradação física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1512-1521, 2013.

GRABLE, A.R.; SIEMER, E.G. Effects of bulk density aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of American Journal**, v.32, p.180-186, 1968.

GRANTZ, S.A.; SLINKER, B.K. **Primer of applied regression and analysis of variance**. New York: McGraw Hill, 1990. 777p.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; DIAS JUNIOR, M.S.; TORMENA, C.A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.11-18, 2001.

MOREIRA, F. R.; DECHEN, S. C. F.; SILVA, A. P.; FIGUEIREDO, G. C.; MARIA, I. C.; TEREZINHA, P. Intervalo hídrico ótimo em um Latossolo vermelho cultivado em sistema semeadura direta por 25 anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.118-127, 2014.

PEREIRA, A. H. F. **Atributos físicos do solo sob tipos de transbordo em colheita mecanizada de cana crua**. 2014. 54 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

KAPPES, C. ARF, O. ANDRADE, J. A. C. Coberturas vegetais, manejo do solo, doses de nitrogênio e seus efeitos na nutrição mineral e nos atributos agrônômicos do milho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.37, p.1322-1333, 2013.

KAISER, D. R. REINERT, D. J. REICHERT, J. M. COLLARES, G. L. KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um latossolo sob diferentes níveis de compactação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, p. 845–855, 2009.

KAY, B. D. Rates of changes of soil structure under different cropping systems. **Advances in Soil Science**, v.12, p.1 – 51, 1990.

KLEIN, V.A.; CAMARA, R.K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.221-227, 2007.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis - physical and mineralogical methods**. 2 ed. Madison: ASA – SSSA, 1986, p.635-662.

LAPEN, D.R.; TOPP, G.C.; GREGORICH, E.G.; CURNOE, W.E. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, eastern Ontario, Canada. **Soil and Tillage Research**, v.78, p.151-170, 2004.

LEÃO, T. P. SILVA, A. P. MACEDO, M. C. M. IMHOFF, S. EUCLIDES, V. P. B. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 415 – 423, 2004.

LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, V.P.B. Least limiting water range: A potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. **Soil and Tillage Research**, v.88, p.279-285, 2006.

LETEY, J. Relationship between soil physical proerties and crop production. **Advvances in Soil Science**, v.1, p.277–294, 1985.

LIMA, V. M. P. OLIVEIRA, G. C. SERAFIM, M. E. CURI, N. EVANGELISTA, A. R. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 71 – 78, 2012.

LIMA FILHO, O. S.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e práticas**. Brasília: Embrapa, 2014. 507 p.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo vermelho do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo por 20 anos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.291-299, 2003.

ORTIGARA, C. KOPPE, E. LUZ, F. B. BERTOLLO, A. M. KAISER, D. R. SILVA, V. R. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p. 619 – 626, 2014.

PACHECO, E.P.; CANTALICE, J.R.B. Compressibilidade, resistência a penetração e intervalo hídrico ótimo de um Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros de alagoas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.403-415, 2011.

PAIS, P.S.M.; DIAS JUNIOR, M.S.; SANTOS, G.A.; DIAS, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALCÂNTARA, E.N. Compactação causada pelo manejo de plantas invasoras em Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1949-1957, 2011.

PEIXOTO, P.P.P. **Bases para aproveitamento e gerenciamento de recursos hídricos na região de Dourados-MS**. 2002. 98 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu-SP.

PIRES, B.S.; DIAS JUNIOR, M.S.; ROCHA, W.W.; ARAUJO JUNIOR, C.F.; CARVALHO, R.C.R. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.635-642, 2012.

PRADO, E. A. F.; VITORINO, A. C. T.; OLIVEIRA, W. H.; ESPINDULA, D. L. P.; ARANTES, H. P. Índice de dispersão de agregados de um Latossolo Vermelho distroférico cultivado com cana sob aplicação de vinhaça. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, suplemento 1, p. 2347-2356, 2014.

CONGRESSO E FEIRA DA QUALIDADE EM METROLOGIA. 1., 2006, São Paulo. **Uso da estatística como ferramenta para determinar a periodicidade das calibrações: Exemplos**: livro de resumos. São Paulo: Rede Metrológica do Estado de São Paulo, 2006. 5p.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, p.211-216, 1988.

ROSS, P.J.; WILLIAMS, J.; BRISTOW, K.L. Equations for extending water-retention curves to dryness. **Soil Science Society of American Journal**, v.55, p.923-927, 1991.

SANTOS, G.A. **Capacidade de suporte de carga de um Latossolo cultivado com cafeeiros sob métodos associados de controle de plantas daninhas**. 2006. 115 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG.

SAVAGE, M.J.; RITCHIE, J.T.; LAND, W.L.; DUGAS, W.A. Lower limit of soil water available. **Agronomy Journal**, v.88, p.844-851, 1996.

SERAFIM, M.E.; VITORINO, A.C.T.; PEIXOTO, P.P.P.; SOUZA, C.M.A.; CARVALHO, D.F. Intervalo hídrico ótimo em um Latossolo Vermelho distroférico sob diferentes sistemas de produção. **Engenharia Agrícola**, v.28, p.654-665, 2008a.

SERAFIM, M.E.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, C.M.A.; PRADO, E.D.; VENTURIN, J.C.; YAMAMOTO, N.T. Desenvolvimento de um penetrógrafo eletromecânico de bancada. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, v.17, p.61-65, 2008b.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; COSTA, K.A.P.; CASTRO, M.B. & MAGALHÃES, E.N. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p.39-45, 2010a.

SEVERIANO, E. C. OLIVEIRA, G. C. DIAS JÚNIRO, M. S. CASTRO, M. B. OLIVEIRA, L. F. C. COSTA, K. A. P. Compactação de solos cultivados com cana-de-açúcar: ii -Quantificação das restrições às funções edáficas do solo em decorrência da compactação prejudicial. **Engenharia Agrícola**, v.30, p.414-423, 2010.

SNEDECOR, G.W.; COCHRAN, W.G. **Statistical methods**. 8 ed. Ames: Iowa State University Press, 1989. 503 p.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, n.6, p.1775-1781, 1994.

SOUZA, G.S.; SOUZA, Z.M.; SILVA, R.B.; ARAÚJO, F.S.; BARBOSA, R.S. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.47, p.603-612, 2012.

SOUZA, G. S. SOUZA, Z. M. SILVA, R. B. BARBOSA, R. S. ARAÚJO, F. S. Effects of traffic control on the soil physical quality and the cultivation of sugarcane. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p. 135 – 146, 2014.

STATSOFT, **Iniciação Estatística** (Data Analysis Software System), Version 7, 2007.

TAYLOR, D.W. **Fundamentals of soil mechanics**. New York: J. Wiley, 1948. 700 p.

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

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

TORMENA, C.A.; ARAÚJO, M.A.; FIDALSKI, J.; COSTA, J.M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.2, p.211-219, 2007.

van LIER, Q. J. **Física do solo**. 1 ed. Viçosa: SBCS, 2010. 298p.

ATRIBUTOS FÍSICOS EM FUNÇÃO DOS MANEJOS DE SOLO E USO DE CULTURAS NA RENOVAÇÃO DO CANAVIAL

RESUMO

Com o cultivo de culturas que antecedem a renovação de canaviais é possível que ocorra melhorias das condições físicas do solo, através do maior aporte de matéria orgânica, da formação de bioporos e maior agregação. Objetivou-se avaliar o uso de atributos físicos do solo com a utilização de culturas alternativas, em sistemas com preparo do solo e semeadura direta, no momento da renovação do canavial. O estudo foi realizado em área comercial, no ano agrícola de 2012/2013, em Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso. O delineamento experimental foi em blocos, em esquema de faixas, com seis culturas, dois manejos de solo e cinco repetições. Foram avaliadas duas profundidades, 0,15 e 0,25 m. Os tratamentos foram: *Crotalária Juncea*; *Crotalária Ochroleuca*; Girassol; Pousio; Soja e Sorgo sacarino. Após o ciclo vegetativo das culturas potencialmente renovadoras de canavial, foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada em cilindros metálicos para determinação da densidade do solo (DS), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro) e porosidade total (PT) e na forma de blocos para determinação da estabilidade de agregados. O cultivo de *crotalária juncea* favoreceu os menores valores de DS onde se realizou o preparo do solo. O tratamento com girassol, soja e sorgo favoreceram os menores valores de DS em semeadura direta. A *crotalária juncea* e a soja aumentaram a Macro e a PT com preparo do solo. Já em semeadura direta a Micro pouco se diferenciou entre as culturas, no entanto o cultivo de sorgo, girassol e soja aumentaram a macro. E em semeadura direta a *crotalária juncea*, girassol e pousio favoreceram a PT. O cultivo de *crotalária juncea*, soja e sorgo favoreceram os maiores valores de diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP) e índice de estabilidade de agregados (IEA). O tratamento em pousio e com *crotalária juncea* favoreceram os menores valores do índice de dispersão (ID). Os atributos físicos do solo são alterados pelo tipo de manejo do solo e pelas culturas alternativas para renovação do canavial.

Palavras-chave: plantas de cobertura, qualidade física, estrutura.

PHYSICAL ATTRIBUTES AND CULTURES IN THE RENEWAL OF LATOSOL CANEBRAKE

ABSTRACT

It is expected that the cultivation of crops preceding the renewal of cane fields to improve the soil physical conditions. The objective was to evaluate the use of soil physical attributes with the structural soil quality indicators after the use of alternative crops, tillage and direct seeding, at the time of renewal of sugarcane. The study was conducted in the São Fernando plant area in Dourados - MS, in the agricultural year 2012/2013. The soil in the experimental area was classified as Oxisol clayey dystrophic. The experiment was arranged in bands scheme, in a randomized block design with two management soil, six treatments evaluated in two depths 0.15 and 0.25 m with four replications. The treatments were: *Sunnhemp juncea*; *Sunnhemp Ochroleuca*; BRS Sunflower 321; Fallow; SOJA BMX Turbo and sorghum BRS 506. After the growing season of potentially renewing sugarcane crop, soil samples were collected with structure preserved in metal cylinders, study depths. The sunnhemp cultivation favored the smaller bulk density values (DS) in conventional sowing. Treatment with sunflower, soybean and sorghum favored the lower DS values in direct seeding. The sunn hemp and soy increased macroporosity (Macro) and total porosity (PT) with tillage. Already in direct seeding microporosity (Micro) differed little between cultures, however the sorghum crop, sunflower and soybeans increased macro. And in tillage *Sunnhemp juncea*, sunflower and fallow favored the PT. The cultivation of sunn hemp, soy and sorghum favored the larger geometric mean diameter values (DMG), mean weight diameter (DMP) and aggregate stability index (IEA). Treatment fallow and sunnhemp favored the lower values of dispersion index (DI). The soil physical attributes are changed by the type of soil management and cultures.

Keywords: cover crops, physical, structure.

INTRODUÇÃO

As operações intensivas de preparo do solo com grades aradoras promovem a inversão das camadas, deposição diferencial das partículas do solo, o que altera e modifica a estrutura do solo. Tais alterações se manifestam, em geral, na densidade do solo, volume e distribuição de tamanho dos poros e estabilidade de agregados, influenciando a infiltração da água, erosão hídrica, desenvolvimento e produtividade das plantas (Bertol et al., 2004).

A adoção de sistema de semeadura direta tem sido indicada como uma das alternativas para o surgimento de sistemas agrícolas sustentáveis, embasado nos princípios de menor revolvimento do solo e no aporte contínuo de material orgânico na superfície do solo (Sousa Neto et al., 2008).

À medida que o conhecimento do plantio direto se amplia, verifica-se que os usos de indicadores químicos isolados não permitem uma melhor caracterização dos solos, sendo necessário utilizar um conjunto de indicadores da qualidade do solo com a entrada de outros atributos, entre eles os físicos. A variação desses atributos, determinada pelo manejo e uso do solo, e sua avaliação são importantes para o melhor manejo visando à sustentabilidade do sistema (Carneiro et al., 2009).

No contexto da sustentabilidade e qualidade do solo, a utilização de plantas de cobertura tem como finalidade, romper a camada compactada do solo, produzir fitomassa e conseqüentemente aumentar o teor de matéria orgânica, que após sua decomposição atua na agregação e estabilização dos agregados o que melhora a qualidade física do solo. Para Sousa Neto et al. (2008) a utilização de plantas de coberturas é benéfica na melhoria da agregação e estrutura do solo devido, a ação mecânica das raízes ou pela excreção de substâncias com ação cimentante e indiretamente pela ação da fauna do solo da decomposição de material orgânico. Assim, a formação e estabilização dos agregados pode ocorrer concomitantemente através da ação dos ácidos orgânicos e adicionalmente com ligações eletrostáticas e forças de van der Waals (Garcia e Rosolem, 2010). O que corrobora com Prado et al. (2014) que citam a importância dos óxidos de Fe, Al e matéria orgânica como agentes determinantes na estabilização dos agregados.

As plantas de cobertura também são citadas como benéficas na melhoria da estrutura do solo, após a decomposição das suas raízes e formação de bioporos, que são

canais que contribuem para a infiltração de água e difusão de gases, melhorando a qualidade física do solo para culturas subsequentes (Garcia, 2010).

Perspectiva de avaliação da qualidade física, a densidade do solo tem sido usada como importante indicador devido as suas relações com outros atributos, como porosidade, infiltração e retenção de água no solo e resistência à penetração de raízes. Como o solo é um material poroso, por compressão a mesma massa pode ocupar um volume menor e isso afeta sua estrutura (PIRES et al., 2011). Portanto, elevadas densidades podem promover redução no crescimento da parte aérea de plantas submetidas a diferentes graus de compactação (SILVA et al., 2006). A utilização de plantas de cobertura como fonte futura de matéria orgânica tem relação direta com a densidade do solo, a baixa massa dos compostos orgânicos ao ser mistura com partículas minerais altera e diminui a densidade do solo para um mesmo volume.

Neste contexto, a renovação dos canaviais por meio do uso de culturas é uma alternativa de fácil adoção para o aumento da produtividade dos canaviais. As vantagens de sua utilização são variadas destacando-se, economia na reforma do canavial, manutenção da cobertura vegetal, conservação do solo, alívio da compactação e aumento da agregação do solo, através do sistema radicular das culturas, do aporte de material orgânico, fixação de nitrogênio e conseqüentemente melhoria da qualidade biológica, química e física do solo.

Objetivou-se com este estudo avaliar a agregação e atributos físicos de um latossolo Vermelho distroférico em função do manejo do solo e cultivo de espécies antecessoras na renovação do canavial.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área da Usina São Fernando no município de Dourados - MS, no ano agrícola de 2012/2013. O local situa-se em latitude de 22°24'58"S, longitude de 55°05'30"W e altitude de 410 m. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen. A região apresenta precipitação pluvial média anual de 1.400 mm e as temperaturas médias anuais variam de 18°C a 25°C nos meses mais frio e mais quente, respectivamente. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico, (SANTOS et al., 2013).

Após colheita da cana-de-açúcar na área experimental procedeu-se a destruição química das touceiras, sendo a área preservada com os restos da cultura de cana sobre o solo para implantação do tratamento que considera o não revolvimento, semeadura direta. Na área experimental destinada ao preparo do solo houve destruição mecânica das soqueiras, através do manejo com duas gradagens aradoras com discos de 34" recortados, duas subsolagens com subsolador canavieiro na profundidade de 0,45 m e duas gradagens niveladoras com discos de 28". O experimento foi disposto no esquema de faixas, com delineamento em blocos casualizados, com dois manejos, um com preparo do solo e o outro com semeadura direta com seis tratamentos avaliados em duas profundidades 0,15 m e 0,25 m com cinco repetições. As parcelas para cada tratamento tinham 18 m de largura por 20 m de comprimento, totalizando 360 m². Os tratamentos foram: *Crotalaria Juncea*; *Crotalaria Ochroleuca*; Girassol; Pousio; Soja e Sorgo sacarino.

A implantação do experimento ocorreu após a colheita do sexto corte da cana-de-açúcar em outubro de 2012 e conseqüentemente com a semeadura das culturas viáveis para a renovação do canavial.

Antes da semeadura da soja as sementes foram tratadas com CARBOXINA + TIRAM na dose 100 ml para cada 50 kg de sementes e inoculadas com INOCULANTE TURFOSO na dose de 80 g por saco de 50 kg. Também foi utilizado no momento da semeadura a adubação com 250 Kg ha⁻¹ da formula 08-20-20 mais 2% de Ca, 6% de S e 0,3% de Zn.

Foi utilizada uma semeadora-adubadora de semeadora convencional, com sete linhas, espaçadas entre si de 0,45 m, semeando 16 sementes por metro para obtenção de um stand final de 12 plantas por metro. Para semeadura do sorgo sacarino BRS 506 e

do girassol BRS 321 foi utilizada uma semeadora-adubadora de semeadora convencional, com quatro linhas, espaçadas de 0,90 m, utilizando-se de 10 e 5 Kg ha⁻¹ de semente respectivamente. Para a *crotalaria juncea* foram utilizados 25 Kg ha⁻¹ de sementes com espaçamento de 0,45 m entre linhas. Já para a *crotalaria ochroleuca* utilizou-se 10 kg ha⁻¹ de sementes com espaçamento de 0,45 m entre plantas. Todos os tratamentos foram semeados no dia 28/11/2012, exceto o tratamento com girassol BRS 321 que foi semeado no dia 07/12/2012.

Após o ciclo vegetativos das culturas se procedeu a colheita da soja em 01/03/2013. Para as demais culturas foi utilizado um triturador de palha para incorporação dos restos culturais. Posterior ao manejo final das culturas se procedeu a coleta do solo com estrutura indeformada com ajuda de cilindros metálicos de 83 cm³, raio de 3,22 cm x 2,55 cm de altura em 11/04/2013. Em cada manejo do solo e tratamentos foram coletadas 5 amostras em cada profundidade, totalizando 96 amostras.

Após a coleta as amostras, foram preparadas, e submetidas à saturação, por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de 2/3 da altura do cilindro metálico. As amostras saturadas foram levadas à mesa de tensão com nível de sucção correspondente a 60 cm de altura de coluna d'água para determinação da microporosidade (Micro), e por diferença foi determinado também a macroporosidade (Macro) e porosidade total (PT), como proposto em Donagema et al. (2011). Após estes procedimentos as amostras foram levadas à estufa a 105 °C por 48 h para se determinar a densidade do solo pelo método do anel volumétrico.

Para a determinação da estabilidade dos agregados foram obtidas amostras com estrutura levemente alterada na forma de blocos, em trincheiras de (30x30x30 cm) em cada parcela e profundidade. Foram utilizados os agregados retidos na peneira de 4,63 mm por tamisamento via seca. Desse material foram utilizadas três subamostras de 15 g, sendo duas para cada jogo de peneiras com malhas de 2,0; 1,0; 0,5 e 0,105 mm, o que foi considerado como repetição 1 e 2, submetidos à agitação vertical em tanque com água por 15 min, com 30 oscilações por minuto. A terceira subamostra foi utilizada para determinar a umidade do solo. O solo que era retido em cada peneira era transferido para latas de alumínio de massa conhecida, que em seguida eram colocados em estufa para secarem a 105° C até peso constante. Os valores obtidos foram usados para os cálculos do diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) e índice de estabilidades de agregados (IEA), que foram determinados de acordo com Kemper e Rosenau (1986); Moraes et al. (2002).

De acordo com Pereira e Thomaz (2014) o DMP representa a porcentagem de agregados grandes retidos nas peneiras com malhas maiores. O DMG representa uma estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência. E 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).

Para a determinação do índice de dispersão (ID) foram utilizados 5 g de agregados para a sonificação. Os agregados foram colocados em béquer com capacidade de 400 mL, sendo adicionado 200 mL de água destilada, mantendo uma relação solo:água de 1:40. As sonificações foram realizadas utilizando um aparelho Misonix, modelo XL2020, durante 60 segundos conforme descrito em Sá et al. (2002), operando no estágio nove do mostrador com potência de 70 W.

A ponta da haste do aparelho, com 175 mm de comprimento e diâmetro de 19 mm, foi inserida na água a uma profundidade de 50 mm. Após cada sonificação, as amostras foram passadas em peneira de malha 0,053 mm, para quantificação da fração areia ou agregados do tamanho de areia, sendo que o restante contendo argila, silte e agregados do tamanho silte foram transferidos ao mesmo tempo para proveta com capacidade para 500 mL. Esse volume foi completado com água destilada e a suspensão agitada para homogeneização. Com base na lei de Stokes, depois de adequados tempos de sedimentação da fração silte, subamostras de 10 mL foram coletadas para quantificação da fração argila. A fração silte foi obtida por diferença da soma da areia com a argila. Este procedimento possibilitou o cálculo do índice de dispersão, obtido pela relação: silte + argila dispersa / amostra original (5g - umidade) conforme descrito em Sá et al. (2002).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, e quando significativa foi aplicado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para a comparação de médias e verificação da interação entre manejos de solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância das médias da interação da profundidade de 0,15 m, entre culturas e manejos do solo, da Ds, macro, micro e PT foram significativas a 5% pelo teste F, exceto para interação de culturas e preparo do solo (manejo 1) da variável microporosidade (Quadro 1).

Quadro 1. Análise de variância e valores médios de densidade (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e Porosidade total (PT), na profundidade de 0,15 m em função de culturas, com preparo do solo (PS) e semeadura direta (SD) no momento da renovação do canavial, em amostras coletadas após o manejo das culturas.

Culturas	Ds	Macro	Micro	PT
	Mg m ⁻³	m ³ m ⁻³		
Preparo do solo				
<i>Crotalaria Ochroleuca</i>	B 1,34 bc	A 0,11 ab	A 0,45 a	A 0,56 ab
<i>Crotalaria Juncea</i>	1,33 c	0,12 a	0,45 a	0,57 ab
Girassol	1,37 ab	0,09 cd	0,47 a	0,56 ab
Pousio	1,38 a	0,08 d	0,45 a	0,53 b
Soja	1,34 bc	0,11 a	0,47 a	0,58 a
Sorgo	1,36 abc	0,10 abc	0,46 a	0,56 ab
Semeadura direta				
<i>Crotalaria Ochroleuca</i>	A 1,46 b	B 0,07 b	B 0,45 ab	B 0,52 ab
<i>Crotalaria Juncea</i>	1,42 c	0,08 ab	0,47 a	0,56 a
Girassol	1,38 d	0,10 a	0,45 ab	0,55 a
Pousio	1,50 a	0,06 b	0,44 ab	0,50 b
Soja	1,39 d	0,10 a	0,40 c	0,50 b
Sorgo	1,38 d	0,11 a	0,43 bc	0,54 ab
Probabilidade F				
Culturas	< 0,01	< 0,01	0,07	< 0,01
Manejos	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Culturas x Manejos	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
6 Culturas – Manejo 1	< 0,01	< 0,01	0,13	< 0,01
6 Culturas – Manejo 2	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
CV				
Culturas	1,06	14,57	4,16	3,21
Manejos	1,22	16,47	4,06	4,71

Letras minúsculas na coluna, e maiúsculas entre colunas seguidas de mesma letra, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com o grande acúmulo de fitomassa proveniente do último corte da cana-de-açúcar (17 Mg ha⁻¹) no momento da implantação do experimento, aliado ao incremento do aporte de material vegetal ao fim do ciclo das culturas renovadoras, ocorre com a ação

dos microrganismos do solo a decomposição do material vegetal, processo este que favorece a formação de compostos orgânicos de baixo peso molecular, que atuam inicialmente na formação e estabilização dos agregados do solo, e conseqüentemente modificam a alguns aspectos da porosidade.

O material orgânico, por apresenta menor massa específica que as partículas minerais, ao ser adicionado ao solo diminui a densidade do solo para um determinado volume, concomitantemente melhora a qualidade física do solo. Uma vez que melhora agregação do solo, favorece a um aumento da macroporosidade, elevando a magnitude do fenômeno da capilaridade, que disponibilização água a baixa tensão para as plantas e atua também como lubrificante para o crescimento radicular. Além da melhoria da porosidade causada pelas plantas potencialmente renovadoras de canavial, estas possuem sistema radicular vigoroso que podem favorecer a agregação, ou alívio de camadas compactadas por meio do seu crescimento através dessas.

A menor densidade na profundidade de 0,15 m pode ser observada com o manejo do solo com *crotalária juncea*, sendo esta igual à *crotalária ochroleuca*, soja e sorgo (Quadro 1). O tratamento em pousio apresentou a maior densidade entre as culturas e não diferiu estatisticamente dos tratamentos com girassol e sorgo.

Com relação à profundidade de 0,15 m em semeadura direta, os valores de densidade foram mais elevados quando comparados ao preparo do solo. Para tanto o tratamento em pousio apresentou a maior densidade, diferindo dos demais culturas. Com densidades iguais, os menores valores foram encontrados para as rotações com girassol, soja e sorgo. A matéria orgânica por apresentar menor densidade de massa quando comparada com as partículas minerais do solo, tem a capacidade de diminuir a densidade do solo em um dado volume. O que esta de acordo com Lima Filho et al. (2014), que observou tendência de redução nos valores da densidade máxima do solo com aumento do teor da matéria orgânica no solo.

Na profundidade de 0,15 m com preparo do solo a macroporosidade do tratamento com *Crotalária Juncea* proporcionou o maior valor ao solo, juntamente com a *Crotalária Ochroleuca*, soja e sorgo. A menor macroporosidade foi observada no tratamento em pousio e girassol. Em semeadura direta a macroporosidade foi maior nos tratamentos com *Crotalária Juncea*, girassol, soja e sorgo respectivamente (Quadro 1). Para Lima Filho et al. (2014) o fornecimento de fitomassa e acúmulo de matéria orgânica no solo, aumenta a macroporosidade, por ser um material mais leve do que as partículas

minerais do solo. Essa adição promove um efeito de diluição do peso e um aumento do volume de poros.

Na profundidade de 0,15 m com preparo do solo os valores de microporosidade foram iguais entre os tratamentos. Em semeadura direta o maior valor médio de microporosidade foi observado no tratamento com *Crotalaria Juncea*, sendo estatisticamente diferente apenas dos tratamentos com soja e sorgo. O menor valor de microporosidade foi encontrado no tratamento com soja. (Quadro 1).

Em relação a porosidade total na profundidade de 0,15 m com preparo do solo o tratamento com soja proporcionou o maior valor, sendo igual aos demais tratamentos, exceto ao pousio. O pousio apresentou o menor valor de porosidade total. Só houve diferença estatística entre soja e pousio para esta profundidade. Para o manejo com semeadura direta a porosidade total foi maior no tratamento que utilizou *Crotalaria Juncea*, não diferindo pelo teste de Tukey a 5% dos tratamentos com *Crotalaria Ochroleuca*, girassol e sorgo (Quadro 1).

Na profundidade de 0,25 m com o preparo do solo, no tratamento com *crotalaria juncea* obteve-se a menor densidade, sendo diferente dos outros tratamentos em estudo.

O tratamento em pousio, girassol e soja apresentaram os maiores valores de densidades sendo iguais entre si. Os tratamentos com *Crotalaria Ochroleuca* e sorgo apresentaram densidades intermediárias aos demais tratamentos.

Com relação à profundidade de 0,25 m em semeadura direta, os valores de densidade foram semelhantes. O tratamento em pousio apresentou o maior valor de densidade, diferindo das demais culturas. Com densidades iguais, os menores valores foram encontrados para girassol, soja e sorgo, respectivamente.

Na profundidade de 0,25 m em preparo do solo a macroporosidade obtida quando se utilizou a *Crotalaria Juncea* proporcionou o maior valor ao solo. A menor macroporosidade foi observada no tratamento em pousio com igualdade ao girassol e soja. Em semeadura direta a maior macroporosidade foi de $0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ é igual em todos os tratamentos (Quadro 2). Na profundidade de 0,25 m com preparo de solo a microporosidade foi maior para a soja e sorgo, e foram iguais as outras culturas, exceto em relação a *Crotalaria Juncea*, que apresentou a menor microporosidade. O aumento dos valores de macroporosidade em solos sob culturas pode estar relacionado ao crescimento do sistema radicular das culturas. Espécies que possuem sistema radicular vigoroso, com capacidade de crescer em solos com alta resistência à penetração, criam

poros por onde as raízes, da cultura subsequente possa crescer (CALONEGO e ROSOLEM, 2008).

Em semeadura direta o maior valor médio de microporosidade foi observado no tratamento com pousio, sendo diferente apenas do tratamento com girassol que apresentou o menor valor, diferente dos demais tratamentos (Quadro 2).

Quadro 2. Análise de variância e valores médios de densidade (Ds), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e Porosidade total (Pt), na profundidade de 0,25 m em função de culturas, com preparo do solo (PS) e semeadura direta (SD) no momento da renovação do canavial, em amostras coletadas após o manejo das culturas.

Culturas	Ds	Macro	Micro	Pt
	Mg m ⁻³	m ³ m ⁻³		
Preparo do solo				
<i>Crotalária Ochroleuca</i>	A 1,35 b	B 0,11 b	A 0,46 ab	A 0,57 a
<i>Crotalária Juncea</i>	1,26 c	0,14 a	0,44 b	0,58 a
Girassol	1,48 a	0,07 d	0,46 ab	0,53 b
Pousio	1,51 a	0,06 d	0,47 ab	0,53 b
Soja	1,49 a	0,08 cd	0,48 a	0,56 a
Sorgo	1,37 b	0,09 bc	0,48 a	0,57 a
Semeadura direta				
<i>Crotalária Ochroleuca</i>	A 1,43 b	A 0,12 a	B 0,38 ab	B 0,50 b
<i>Crotalária Juncea</i>	1,42 b	0,13 a	0,39 ab	0,52 ab
Girassol	1,36 c	0,14 a	0,36 c	0,50 b
Pousio	1,48 a	0,14 a	0,41 a	0,53 a
Soja	1,37 c	0,14 a	0,38 ab	0,52 ab
Sorgo	1,36 c	0,14 a	0,38 ab	0,52 ab
Probabilidade F				
Culturas	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01
Manejos	0,28	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Culturas x Manejos	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01
6 Culturas – Manejo 1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
6 Culturas – Manejo 2	< 0,01	0,15	0,01	< 0,01
CV				
Culturas	2,16	11,08	4,13	3,04
Manejos	1,79	12,20	4,22	2,55

Letras minúsculas na coluna, e maiúsculas entre colunas seguidas de mesma letra, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação à porosidade total na profundidade de 0,25 com preparo do solo a utilização de *Crotalária Juncea* proporcionou ao solo o maior valor médio. Sendo estatisticamente diferente à cultura de girassol e em pousio. O pousio e o girassol apresentaram os menores valores de porosidade total. Para o manejo com semeadura direta a porosidade total foi maior no tratamento em pousio, não diferindo dos tratamentos

com *Crotalaria Juncea*, soja e sorgo. As menores porosidades totais foram observadas nas rotações com *Crotalaria Ochroleuca* e girassol, sendo também igual as rotações com *Crotalaria Juncea*, soja e sorgo (Quadro 2).

A análise de variância das médias da interação da profundidade de 0,15 m, entre culturas e manejos, do diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de estabilidade de agregados (IEA) e índice de dispersão (ID) foram significativas a 5% de probabilidade pelo teste F, exceto para interação de culturas e semeadura 2 da variável IEA (Quadro 3).

Quadro 3. Análise de variância e valores médios de diâmetro médio geométrico (DMG), Diâmetro médio ponderado (DMP), Índice de estabilidade de agregado (IEA) e Índice de dispersão (ID), na profundidade de 0,15 m em função de culturas, com preparo do solo (PS) e semeadura direta (SD), no momento da renovação do canal, em amostras coletadas após o manejo das culturas.

Culturas	DMG	DMP	IEA	ID
	-----mm-----	-----	-----%	-----
Preparo do solo				
<i>Crotalaria Ochroleuca</i>	A 2,13 d	A 2,62 b	A 96,31 b	B 0,08 c
<i>Crotalaria Juncea</i>	2,31 b	2,66 ab	97,28 ab	0,06 c
Girassol	2,25 c	2,65 ab	97,27 ab	0,11 b
Pousio	2,14 d	2,56 c	97,30 ab	0,19 a
Soja	2,36 a	2,68 a	97,59 a	0,17 a
Sorgo	2,36 a	2,68 a	97,32 a	0,18 a
Semeadura direta				
<i>Crotalaria Ochroleuca</i>	A 2,17 c	A 2,59 b	B 95,72 a	A 0,25 a
<i>Crotalaria Juncea</i>	2,15 c	2,60 b	95,72 a	0,20 b
Girassol	2,17 c	2,60 b	96,21 a	0,20 b
Pousio	2,38 a	2,71 a	95,48 a	0,19 b
Soja	2,40 a	2,72 a	96,12 a	0,23 a
Sorgo	2,22 b	2,59 b	96,34 a	0,24 a
Probabilidade F				
Culturas	< 0,01	< 0,01	0,04	< 0,01
Manejos	0,09	0,64	< 0,01	< 0,01
Culturas x Manejos	< 0,01	< 0,01	0,06	< 0,01
6 Culturas – Manejo 1	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01
6 Culturas – Manejo 2	< 0,01	< 0,01	0,08	< 0,01
CV				
Culturas	0,65	1,16	0,54	15,69
Manejos	0,87	0,82	0,42	10,65

Letras minúsculas na coluna, e maiúsculas entre colunas seguidas de mesma letra, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com preparo do solo e na profundidade de 0,15 m os valores médios de DMG foram maiores nas culturas com soja e sorgo. Os menores valores de DMG foram

encontrados na para a cultura de *Crotalária Ochroleuca*. Para a semeadura direta os maiores valores de DMG foram encontrados no tratamento em pousio e na soja, os menores DMG foram encontrados nas culturas de *Crotalária Ochroleuca*, *Crotalária Juncea* e girassol, respectivamente. O DMG do sorgo apresentou valores intermediários as demais e diferindo de todas as outras culturas (Quadro 3). Prado (2012) ao trabalhar em Latossolo Vermelho distroférico com aplicação de doses de vinhaça, obteve aumento dos teores de matéria orgânica. O aporte de compostos orgânicos aumentou a estabilidade dos agregados em 33% em relação a testemunha sem aporte. O aumento dos valores de DMG com utilização das culturas, esta relacionado a processos de decomposição da matéria orgânica que atuam na formação e estabilização dos agregados. Segundo Calonego e Rosolem (2008) os exsudados orgânicos liberados pelas raízes também possuem função cimentante das partículas do solo. Esse incremento dos compostos orgânicos, além do efeito direto na agregação do solo, serve de energia para atividade microbiana do solo.

Na profundidade de 0,15 m, com preparo do solo os maiores DMP foram encontrados nas culturas com soja e sorgo, apresentando valores de 2,68 mm em ambos os tratamentos. Os tratamentos com soja e sorgo também foram estatisticamente iguais as rotações com *Crotalária Juncea* e girassol respectivamente. O menor DMP foi encontrado no tratamento em pousio. Quando se utilizou a semeadura direta, para implantação dos tratamentos os maiores DMP, foram encontrados no tratamento em pousio e com soja. Os DMP foram menores nos tratamentos com as rotações de *Crotalária Ochroleuca*, *Crotalária Juncea*, girassol e sorgo respectivamente (Quadro 3). O aumento do DMP esta correlacionado ao sistema radicular das culturas, o que de acordo com Canolengo e Rosolem (2008) a agregação do solo pode ter seu efeito acelerado pela exploração radicular no perfil do solo, que no processo de crescimento, promove a aproximação das partículas à medida que as raízes exercem pressão sobre as partículas minerais no seu avanço pelo espaço poroso.

O IEA na profundidade de 0,15 m com preparo do solo foi maior nas culturas com soja e sorgo, sendo estatisticamente iguais as culturas com *Crotalária Juncea*, girassol e em pousio. Os menores valores foram encontrados com *Crotalária Ochroleuca*, que também foi igual aos com *Crotalária Juncea*, girassol e em pousio. Já em semeadura direta o IEA não apresentou diferença estatística entre os tratamentos (Quadro 3). O que esta de acordo com Garcia e Rosolem (2010) que ao avaliar a influência dos cultivos de

primavera, em sistema de plantio direto, nos agregados de um Latossolo não encontraram diferença para o IEA com a utilização de cober crop, crotalária, milho e pousio.

Com a utilização do preparo do solo e na profundidade de 0,15 m o ID foi menor nas rotações com *Crotalária Ochroleuca* e *Crotalária Juncea*. Os maiores ID foram obtidos no tratamento em pousio e nas rotações de soja e sorgo.

Já em semeadura direta os menores ID foram encontrados com *Crotalária Juncea*, girassol e em pousio. Os maiores valores de ID se deram nas rotações com *Crotalária Ochroleuca*, soja e sorgo (Quadro 3). Os incrementos de material vegetal fornecidos ao solo após processo de decomposição melhoram a estabilidade dos agregados. Prado et al. (2014) ao trabalhar com cana soca em Latossolo Vermelho istroférrico.

Tanto com a utilização do preparo do solo como em semeadura direta os menores ID refletem maior estabilidade dos agregados, o que leva a uma melhor estruturação do solo e maior resistência à degradação física. Maiores valores de ID refletem um solo com baixa estabilidade de agregados, o que resultam em baixa qualidade física, uma vez que os agregados ao se dividirem se reagrupam em agregados menores, o que causa a diminuição da macroporosidade e elevação da densidade do solo.

Os agregados não estáveis, quando na superfície, tendem a desaparecer e dispersarem-se sob o impacto das gotas de chuva ou são lixiviados se acumulando em horizontes inferiores tornando-os mais densos (PEREIRA e THOMAZ, 2014).

A análise de variância das médias da interação da profundidade de 0,25 m, entre culturas e semeaduras, do diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de estabilidade de agregados (IEA) e índice de dispersão (ID) foram significativas a 5% de probabilidade pelo teste F, exceto para interação de culturas e preparo do solo da variável ID.

Com a utilização do preparo do solo na profundidade de 0,25 m o DMG foi maior com sorgo. Os menores valores médios de DMG foram encontrados na *Crotalária Ochroleuca*. Para a semeadura direta o maior DMG foi encontrado no tratamento com sorgo. O menor DMG foi encontrado na *Crotalária Juncea*. A profundidade de 0,15 m apresentou resultados semelhantes aos da profundidade de 0,25 m, sendo o sorgo a cultura que proporcionou ao solo a melhor qualidade física.

O DMG das culturas de *Crotalária Ochroleuca*, girassol, soja e do pousio apresentaram valores intermediários, sendo diferentes das culturas de sorgo e *Crotalária Juncea* (Quadro 4).

Tabela 4. Análise de variância e valores médios de diâmetro médio geométrico (DMG), Diâmetro médio ponderado (DMP), Índice de estabilidade de agregado (IEA) e Índice de dispersão (ID), na profundidade de 0,25 m em função de culturas, com Preparo do solo (PS) e semeadura direta (SD), no momento da renovação do canal, em amostras coletadas após o manejo das culturas.

Culturas	DMG	DMP	IEA	ID
	-----mm-----		-----%-----	
Preparo do solo				
<i>Crotalária Ochroleuca</i>	A 1,84 d	A 2,39 e	A 96,31 b	B 0,08 a
<i>Crotalária Juncea</i>	2,26 b	2,64 ab	96,70 ab	0,08 a
Girassol	2,05 c	2,50 d	96,57 b	0,09 a
Pousio	1,14 c	2,56 cd	96,17 b	0,10 a
Soja	2,10 c	2,58 bc	95,92 b	0,11 a
Sorgo	2,37 a	2,66 a	97,82 a	0,09 a
Semeadura direta				
<i>Crotalária Ochroleuca</i>	B 2,07 c	B 2,50 b	B 95,33 b	A 0,19 b
<i>Crotalária Juncea</i>	1,98 d	2,50 b	95,44 b	0,13 c
Girassol	2,13 c	2,54 b	95,56 b	0,24 a
Pousio	2,24 b	2,64 a	96,27 ab	0,14 c
Soja	1,75 e	2,33 c	95,84 ab	0,18 b
Sorgo	2,34 a	2,68 a	96,69 a	0,16 c
Probabilidade F				
Culturas	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Manejos	< 0,01	0,04	< 0,01	< 0,01
Culturas x Manejos	< 0,01	< 0,01	0,06	< 0,01
6 Culturas – Manejo 1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,39
6 Culturas – Manejo 2	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
CV				
Culturas	2,21	1,15	0,48	16,59
Manejos	1,74	1,31	0,55	19,85

Letras minúsculas na coluna, e maiúsculas entre colunas seguidas de mesma letra, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com esses resultados fica evidente que não há necessidade de se fazer o revolvimento do solo, pois os melhores resultados tanto quando se utilizou o preparo do solo como em semeadura direta foram semelhantes. Estes resultados também mostram a eficiência da utilização das culturas para a renovação do canal. Por outro lado, deve-se considerar o outro benefício da semeadura direta que se dá pelo aporte de material vegetal ao solo, e o contínuo crescimento radicular que são fundamentais para uma boa agregação e melhoria da estrutura física do solo.

Na profundidade de 0,25 m, com preparo do solo o maior valor médio de DMP foi encontrado no sorgo. O tratamento com *Crotalária Juncea* foi igual a cultura de sorgo. O menor DMP foi encontrado no tratamento com girassol, sendo igual ao

tratamento em pousio. Quando se utilizou a semeadura direta, os maiores valores de DMP, foram encontrados para sorgo e em pousio. O DMP foi menor no tratamento soja (Quadro 4). As culturas de *Crotalaria Ochroleuca*, *Crotalaria Juncea* e girassol apresentaram valores de DMP intermediários (Quadro 8).

No primeiro ano de avaliação da estabilidade de agregados com o cultivo de plantas de cobertura na primavera, em sistema de plantio direto, houve melhora do DMP nos tratamentos com cober crop, crotalária, Milheto e pousio (GARCIA e ROSOLEM, 2010).

O IEA na profundidade de 0,25 m com preparo do solo foi maior para sorgo e *Crotalaria Juncea*. O menor valor foi encontrado no tratamento em pousio, que também foi igual às culturas de *Crotalaria Ochroleuca*, *Crotalaria Juncea*, girassol, pousio e soja. Já em semeadura direta o IEA foi maior com a cultura do sorgo e igual aos tratamentos em pousio e soja (Quadro 4).

Com preparo do solo e na profundidade de 0,25 m o ID apresentou diferença entre os tratamentos. Já em semeadura direta os menores ID foram encontrados nas rotações com *Crotalaria Juncea*, sorgo e em pousio. O maior valor de ID se deu na cultura de girassol (Quadro 4).

CONCLUSÕES

Tanto os manejos do solo com revolvimento e em semeadura direta, e as culturas, de *crotalaria ochroleuca*, *crotalaria juncea*, girassol, soja e sorgo promovem alterações nos atributos físicos do solo avaliados.

Na renovação do canavial com *crotalaria ochroleuca*, *crotalaria juncea*, girassol, soja e sorgo não é necessário revolver o solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

CALONEGO, J.C.; ROSOLEM, C.A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1399-1407, 2008.

CARNEIRO, M. A. C. SOUZA, E. D. REIS, E. F. PEREIRA, H. S. AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.33, p.147-157, 2009.

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 Ciências do Solo**, v.22, p.527-538, 1998.

GARCIA, R. A. **Rotação de culturas e propriedades físicas e matéria orgânica de um latossolo**. 2010. 146 f. Tese (Doutorado em agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu - SP.

GARCIA, R.A.; ROSOLEM, C.A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.1489-1498, 2010.

KEMPER, W. D. ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. **Methods of soil analysis – physical and mineralogical methods**. 2 ed. Madison: ASA – SSSA, 1986, p. 425 – 441.

LIMA FILHO, O. S.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e práticas**. Brasília: Embrapa, 2014. 507 p.

MORAES, M. H.; MULLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: Métodos de estudo, sistema de preparo manejo do solo**. 1.ed. Jaboticabal: Funep, 2002. 225p.

PEREIRA, A. A.; THOMAZ, E. L. Estabilidade de agregados em diferentes sistemas de uso e manejo no Município de Reserva-PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, p.378-387, 2014.

PIRES, L. F. ROSA, J. A. TIMM, L. C. Comparação de métodos de média da densidade do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.33, p.161-170, 2011.

PRADO, E. A. F. **Atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar**. 47 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados – MS.

PRADO, E. A. F.; VITORINO, A. C. T.; OLIVEIRA, W. H.; ESPINDOLA, D. L. P.; ARANTES, H. P. Índice de dispersão de agregados de um Latossolo Vermelho distroférico cultivado com cana sob aplicação de vinhaça. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, suplemento 1, p. 2347-2356, 2014.

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

SANTOS, H. G. (Org.). **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SILVA, G. J.; MAIA, J. C. S; BIANCHINI, A. Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas à irrigação subsuperficial e a diferentes graus de compactação de um Latossolo Vermelho-escuro distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.31-40, 2006.

SOUSA NETO, E. L.; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A. N. CENTURION, J. F. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.255-260, 2008.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

A avaliação dos efeitos de culturas em atributos físicos do solo precisa levar em conta o sistema de manejo do solo que é empregado.

A ausência de revolvimento do solo e o cultivo de espécies alternativas na renovação do canavial, com maior destaque para a *Crotalaria Juncea*, são indicados para a manutenção da qualidade física do solo. Essas práticas agrícolas seriam alternativas à intensa mecanização por ocasião da renovação de um canavial.

As melhorias nos atributos físicos do solo pelo revolvimento foram pouco duradouros, não justificando intensa mobilização do solo na reforma do canavial.