

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**QUALIDADE FÍSICO-HÍDRICA DE UM LATOSSOLO SOB
MANEJOS E CONSÓRCIOS DE MILHO COM FORRAGEIRAS**

BRUNO AGOSTINI COLMAN

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2017**

**QUALIDADE FÍSICO-HÍDRICA DE UM LATOSSOLO SOB
MANEJOS E CONSÓRCIOS DE MILHO COM FORRAGEIRAS**

BRUNO AGOSTINI COLMAN

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Produção Vegetal

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
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

C716q Colman, Bruno Agostini
Qualidade físico-hídrica de um Latossolo sob manejos e consórcios de milho com forrageiras / Bruno Agostini Colman -- Dourados: UFGD, 2017.
83f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Antonio Carlos Tadeu Vitorino.

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

Inclui bibliografia

1. Compactação. 2. Densidade do solo. 3. Intervalo hídrico ótimo. 4. Atributos físicos. 5. Capacidade de suporte de carga. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo (a) autor(a).

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

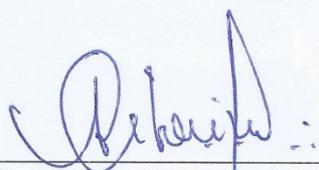
**QUALIDADE FÍSICO-HÍDRICA DE UM LATOSSOLO SOB MANEJOS E
CONSÓRCIOS DE MILHO COM FORRAGEIRAS**

por

Bruno Agostini Colman

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

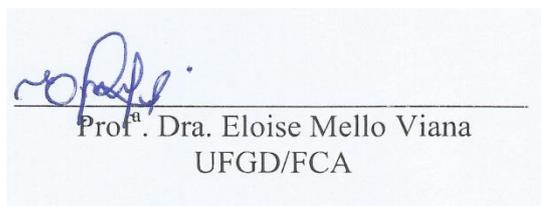
Aprovada em: 12/12/2017



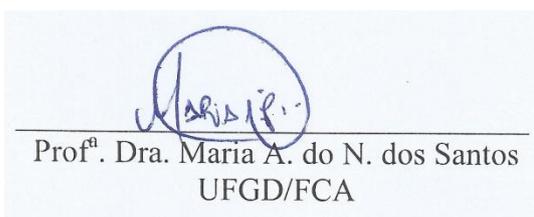
Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino
Orientador – UFGD/FCA



Prof.ª Dra. Alessandra M. T. Alovise
UFGD/FCA



Prof.ª Dra. Eloise Mello Viana
UFGD/FCA



Prof.ª Dra. Maria A. do N. dos Santos
UFGD/FCA



Prof. Dr. Eder Duarte Fanaya Júnior
UEMS/UUA

DEDICO

Aos meus pais, Cláudia Cristina Agostini Colman e Rodolfo Joel Antunes Colman, por nunca medirem esforços e pelo amor incondicional. Aos meus irmãos, Gabrielle Agostini Colman, Beatriz Agostini Colman e Gustavo Agostini Colman, pelo amor, carinho e companheirismo. À minha noiva Gabrielle de Lima Masson, pelo amor, apoio e confiança.

OFEREÇO

A todos os agricultores deste país, que com força e suor contribuem para a manutenção da economia do estado e, direta ou indiretamente, são os responsáveis por tudo que envolve este trabalho e este Programa de Pós-graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por tantas realizações e, além de tudo, conferir-me saúde, sabedoria e lucidez.

À Universidade Federal da Grande Dourados e a Faculdade de Ciências Agrárias, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), pela oportunidade de realização do curso.

Ao meu orientador Professor Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino, pelos ensinamentos, dedicação, incentivos, compreensão, amizade e por ser, para mim, um espelho profissional.

Aos professores, funcionários e colegas do curso, pela dedicação, convívio, auxílio, apoio e amizade. Em especial, ao Professor Luiz Carlos Souza e aos colegas Armindo Neivo Kichel e Poliana Campos Burin, pela parceria e condução da área experimental; assim como à colega Michele da Silva Gomes por todo auxílio durante a execução deste projeto.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro através da bolsa de estudo concedida.

A todos que, de uma forma ou de outra, fizeram parte desta etapa da minha vida e, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	PÁGINA
LISTA DE QUADROS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	viii
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	4
CAPÍTULO I - ATRIBUTOS FÍSICOS E CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE UM LATOSSOLO SOB MANEJOS E CONSÓRCIOS DE MILHO COM FORRAGEIRAS.....	06
RESUMO.....	06
ABSTRACT.....	07
INTRODUÇÃO.....	08
MATERIAL E MÉTODOS.....	10
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
CONCLUSÕES.....	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31
CAPÍTULO II - INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DE UM LATOSSOLO SOB MANEJOS E CONSÓRCIOS DE MILHO COM FORRAGEIRAS.....	36
RESUMO.....	36
ABSTRACT.....	37
INTRODUÇÃO.....	38
MATERIAL E MÉTODOS.....	40
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
CONCLUSÕES.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68

LISTA DE QUADROS

	PÁGINA
CAPÍTULO I.....	06
QUADRO 1. Densidade do solo (DS), resistência à penetração de raízes (RP), porosidade total (PT), microporosidade (MI), macroporosidade (MA), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de água disponível (CAD), nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, após o consócio de milho safrinha com diferentes forrageiras sem a supressão com herbicidas.....	15
QUADRO 2. Densidade do solo (DS), resistência à penetração das raízes (RP), porosidade total (PT), microporosidade (MI), macroporosidade (MA), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de água disponível (CAD), nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, após o consócio de milho safrinha com diferentes forrageiras suprimidas com o herbicida nicosulfuron.....	16
QUADRO 3. Densidade do solo (DS), resistência à penetração das raízes (RP), porosidade total (PT), microporosidade (MI), macroporosidade (MA), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de água disponível (CAD), nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, com e sem a supressão de forrageiras consorciadas com milho safrinha.....	17
QUADRO 4. 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), coletadas em duas profundidades de um Latossolo Vermelho Distroférico, submetido ao consócio de milho safrinha com diferentes forrageiras sem ou com supressão através de herbicidas.....	22
QUADRO 5. 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 0-10 e 10-20 cm, submetido ao consócio de milho safrinha com diferentes forrageiras sem supressão com herbicidas.....	23
QUADRO 6. 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 0-10 e 10-20 cm, submetido ao consócio de milho safrinha com diferentes forrageiras suprimidas com o herbicida nicosulfuron.....	24
 CAPÍTULO II.....	 36
QUADRO 1. 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 0-10 cm de um Latossolo Vermelho Distroférico, submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consócio com diferentes forrageiras e manejos de supressão com herbicidas.....	46
QUADRO 2. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de retenção de água no solo [$\theta = \exp(a+bDs)\Psi^c$], com coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 10-20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférico,	

- submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consórcio com diferentes forrageiras e manejos de supressão com herbicidas.....47
- QUADRO 3. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta^eDs^f$), com coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0-10 cm de um Latossolo Vermelho Distroférico, submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consórcio com diferentes forrageiras e manejos de supressão com herbicidas.....48
- QUADRO 4. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta^eDs^f$), com coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 10-20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférico, submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consórcio com diferentes forrageiras e manejos de supressão com herbicidas.....49
- QUADRO 5. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de retenção de água no solo [$\theta = \exp(a+bDs)\Psi^c$] e resistência do solo à penetração ($RP = d\theta^eDs^f$), com coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0-10 e 10-20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférico, submetido a distintos sistemas de produção de milho consorciado com forrageiras*, sem e com a supressão com o herbicida nicosulfuron.....50

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
CAPÍTULO I	06
FIGURA 1. Imagem aérea (satélite) da área experimental.....	10
FIGURA 2. Dados mensais de precipitação (PR), temperatura média (TM) e umidade relativa (UR), durante os anos experimentais de 2014 (A) e 2015 (B), entre janeiro e dezembro.....	11
FIGURA 3. Dendograma de dissimilaridade entre os sistemas de produção estudados, avaliando-se os atributos físicos do solo na profundidade de 0-10 cm, com base nas distâncias euclidianas através do método do vizinho mais distante.....	19
FIGURA 4. Dendograma de dissimilaridade entre os sistemas de produção estudados, avaliando-se os atributos físicos do solo na profundidade de 10-20 cm, com base nas distâncias euclidianas através do método do vizinho mais distante.....	20
FIGURA 5. Modelos de capacidade de suporte de carga (CSC) para um Latossolo Vermelho Distroférico, nas profundidades de 0-10 (A) e 10-20 cm (B), após o consócio de milho safrinha com diferentes forrageiras sem supressão com herbicidas.....	25
FIGURA 6. Modelos de capacidade de suporte de carga (CSC) para um Latossolo Vermelho Distroférico, nas profundidades de 0-10 (A) e 10-20 cm (B), após o consócio de milho safrinha com diferentes forrageiras sem supressão com herbicidas.....	28
 CAPÍTULO II	 36
FIGURA 1. Restos culturais de milho consorciado com <i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça com (A) e sem supressão (B) através de herbicida, <i>Brachiaria ruziziensis</i> cv. Ruzizienses com (C) e sem supressão (D) através de herbicida, <i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu com (E) e sem supressão (F) através de herbicida, <i>B. brizantha</i> cv. Xaraés com (G) e sem supressão (H) através de herbicida, <i>B. brizantha</i> cv. BRS Piatã com (I) e sem supressão (J) através de herbicida, e milho solteiro (K e L).....	41
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 à penetração de 2,0 MPa (θ_{RP}), em função da densidade de um Latossolo Vermelho Distroférico, na profundidade de 0-10 cm, submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consócio com diferentes forrageiras sem a supressão com herbicidas.....	52
FIGURA 3. 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 MPa (θ_{RP}), em função da densidade de um Latossolo Vermelho Distroférico, na profundidade de 0-10 cm, submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consócio com diferentes forrageiras suprimidas com herbicida nicosulfuron.....	53
FIGURA 4. Variação do Intervalo Hídrico Ótimo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) em função da densidade de um Latossolo Vermelho Distroférico, na profundidade de 0-10 cm,	

- submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consórcio com diferentes forrageiras sem (A) ou com (B) supressão através do herbicida nicosulfuron.....54
- FIGURA 5. 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 MPa (θ_{RP}), em função da densidade de um Latossolo Vermelho Distroférico, na profundidade de 10-20 cm, submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consórcio com diferentes forrageiras sem a supressão com herbicidas.....55
- FIGURA 6. 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 MPa (θ_{RP}), em função da densidade de um Latossolo Vermelho Distroférico, na profundidade de 10-20 cm, submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consórcio com diferentes forrageiras suprimidas com herbicida nicosulfuron.....56
- FIGURA 7. Variação do Intervalo Hídrico Ótimo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) em função da densidade de um Latossolo Vermelho Distroférico, na profundidade de 10-20 cm, submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consórcio com diferentes forrageiras sem (A) ou com (B) supressão através do herbicida nicosulfuron.....57
- FIGURA 8. Variação do Intervalo Hídrico Ótimo ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$) em função da densidade de um Latossolo Vermelho Distroférico, nas profundidades de 0-10 cm (A) e 10-20 cm (B), submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consórcio com diferentes forrageiras sem ou com supressão através do herbicida nicosulfuron.....59

QUALIDADE FÍSICO-HÍDRICA DE UM LATOSSOLO SOB MANEJOS E CONSÓRCIOS DE MILHO COM FORRAGEIRAS

RESUMO GERAL

Atualmente, após diversos problemas gerados pelo sistema convencional de preparo do solo, o manejo de semeadura direta está consolidado. No entanto, tem-se observado nas lavouras de Mato Grosso do Sul, incluindo-se a região da Grande Dourados, inúmeros problemas relacionados com a qualidade físico-hídrica do solo, especialmente à compactação. Desta forma, a utilização do consórcio milho-forrageiras, em diferentes manejos de condução, pode interferir nesses atributos. Neste contexto, objetivou-se avaliar o efeito do consórcio de milho safrinha com diferentes espécies de forrageiras, em diferentes manejos – com e sem supressão com herbicidas, sobre a qualidade físico-hídrica de um Latossolo. O experimento foi realizado no município de Dourados, MS, entre os anos de 2014 e 2015. Foram realizados 11 tratamentos, sendo eles: milho solteiro; milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sem e com supressão através de herbicida; milho consorciado com *Panicum maximum* cv. Mombaça sem e com supressão através de herbicida; milho consorciado com *B. brizantha* cv. BRS Piatã sem e com supressão através de herbicida; milho consorciado com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses sem e com supressão através de herbicida; milho consorciado com *B. brizantha* cv. Xaraés sem e com supressão através de herbicida. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Foram avaliados: densidade do solo, resistência à penetração, porosidade total, microporosidade, macroporosidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, capacidade de água disponível, capacidade de suporte de carga e intervalo hídrico ótimo. Os dados obtidos foram submetidos às análises estatísticas específicas. A introdução de forrageiras no sistema de produção de milho safrinha, durante o outono-inverno e através do consórcio milho-forrageiras, proporciona melhorias à qualidade físico-hídrica do solo estudado. Todas as forrageiras utilizadas, como a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, o *Panicum maximum* cv. Mombaça, a *B. brizantha* cv. BRS Piatã, a *Brachiaria ruziziensis* cv. Ruzizienses e a *B. brizantha* cv. Xaraés, ao menos em uma variável avaliada e uma profundidade estudada (0-10 e 10-20 cm), apresentaram-se superiores ao cultivo de milho solteiro nas condições em que o trabalho foi conduzido. A utilização do manejo supressivo das forrageiras, ao longo das duas safras de cultivo,

não interfere nos efeitos positivos sobre as variáveis físicas estudadas. No entanto, afeta o Intervalo Hídrico Ótimo do solo na profundidade de 0-10 cm.

Palavras-chave: Compactação, densidade do solo, intervalo hídrico ótimo.

PHYSICAL-HYDRICAL QUALITY OF OXISOL UNDER MANAGEMENT AND INTERCROPPING OF CORN WITH FORAGE

GENERAL ABSTRACT

Currently, after several problems generated by the conventional tillage system, the no-tillage system is consolidated. However, it has been observed in the plantations of Mato Grosso do Sul, including the region of Grande Dourados, numerous problems related to the physical-water quality of the soil, especially to compaction. In this way, the use of the maize-forage consortium, in different management practices, can interfere in these attributes. In this context, the objective of this study was to evaluate the effect of the consortium of maize safrinha with different forage species, in different managements - with and without suppression with herbicides, on the physical-water quality of an Oxisol. The experiment was carried out in the municipality of Dourados, MS, between the years 2014 and 2015. Eleven treatments were performed: single corn; corn intercropped with *Brachiaria brizantha* cv. Marandu without and with suppression by herbicide; corn intercropped with *Panicum maximum* cv. Mombasa without and with suppression by herbicide; corn intercropped with *B. brizantha* cv. BRS Piatã without and with suppression by herbicide; corn intercropped with *B. ruziziensis* cv. Ruzizians without and with suppression by herbicide; corn intercropped with *B. brizantha* cv. Xaraés without and with suppression by herbicide. Soil samples were collected at depths of 0-10 and 10-20 cm. Soil density, penetration resistance, total porosity, microporosity, macroporosity, field capacity, permanent wilting point, water theoretically available, load bearing capacity and least limiting water range were evaluated. Data were submitted to specific statistical analyzes. The introduction of fodder in the maize production system, during autumn-winter and through the corn-forage consortium, provides improvements to the physical-water quality of Oxisol located in the municipality of Dourados, Mato Grosso do Sul, Brazil. All forages used, such as *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, the *Panicum maximum* cv. Mombasa, a *B. brizantha* cv. BRS Piatã, *Brachiaria ruziziensis* cv. Ruzizienses and *B. brizantha* cv. Xaraés, at least in one evaluated variable and one studied depth (0-10 and 10-20 cm), were superior to the single corn crop in the conditions in which the work was conducted. The use of the suppressive management of forages, during the two growing

seasons, does not interfere in the positive effects on the studied physical variables. However, it affects the least limiting water range depth in the 0-10 cm depth.

Keywords: Compression, soil density, least limiting water range.

INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura, historicamente, é uma atividade agrícola que acompanha a civilização desde os primórdios da humanidade e está fundamentada no acúmulo de informações e expertises repassadas de gerações a gerações, sucessivamente (MAZOYER & ROUDART, 2010). No Brasil, desde o processo de colonização até os dias atuais, o agronegócio representa um dos principais pilares da economia, influenciando diretamente no desenvolvimento do país; além, é claro, de garantir a segurança alimentar nacional (CONCEIÇÃO & CONCEIÇÃO, 2014).

Ao longo de milhares de anos, esta prática inicialmente primitiva passou por inúmeros processos de evolução e modernização. Recentemente, diferentes sistemas de produção passaram a ser utilizados a partir da chamada “Revolução Verde”, onde a intensa tecnologia empregada no setor agrícola contribuiu fortemente para o aumento da produção de alimentos por todo mundo (ALVES & TEDESCO, 2015).

A partir da década de 60, com a modernização de máquinas e implementos agrícolas, a prática do sistema convencional de preparo do solo promoveu o intensivo cultivo através de arações e gradagens. A grande degradação dos solos agrícolas provocada pelo rompimento do equilíbrio natural, a partir da exposição ao processo erosivo e oxidativo do sistema de preparo convencional, despertou a preocupação sobre a qualidade física do solo e a sustentabilidade da exploração agrícola. Desta forma, buscou-se por sistemas de produção que garantissem a produtividade e simultaneamente fossem sustentáveis, caracterizados pela máxima manutenção de resíduos vegetais sobre a superfície, protegendo-a contra a erosão (COLMAN, 2014; ROCHA et al., 2014; BORTOLETI et al., 2015).

O sistema convencional, até então utilizado nas regiões tropicais e subtropicais, a partir do desenvolvimento de moléculas herbicidas eficientes, entre elas o princípio ativo Glifosato, passou a ser substituído pelo sistema de plantio direto no início da década de 70. A mudança ocorreu com a finalidade específica de controlar a erosão do solo e o sistema se tornou uma das tecnologias de cultivo de maior potencial para a região produtiva dos Cerrados (MORO et al., 2013; COLMAN, 2014; ROCHA et al., 2014; BORTOLETI et al., 2015). Apesar do sistema plantio direto ser praticado em pequenas áreas desde o surgimento da agricultura, entretanto, a primeira lavoura comercial foi implantada em 1966 nos Estados Unidos. A introdução no Brasil foi realizada através da semeadura de sorgo sem o preparo do solo e nos resíduos da cultura

de inverno antecessora, com a utilização de uma semeadora importada em 1969 e no município de Não-Me-Toque, Rio Grande do Sul (CASSOL et al., 2007).

Atualmente, a semeadura direta está consolidada no país e acredita-se que a mesma esteja mais próxima de uma agricultura sustentável, através das melhorias proporcionadas ao sistema (RIBEIRO et al., 2016). No entanto, tem-se observado nas lavouras de Mato Grosso do Sul, incluindo-se a região da Grande Dourados, inúmeros problemas relacionados com a qualidade físico-hídrica do solo, especialmente à compactação.

Teoricamente, caracterizam-se como sistemas de plantio direto as áreas de produção que realizam o mínimo revolvimento do solo durante a semeadura sobre os resíduos vegetais das culturas antecessoras, que permanecem com o solo coberto durante todo o ciclo da lavoura e que praticam a rotação de culturas. Devido à situação financeira dos produtores rurais e a busca por maiores rentabilidades, muitos não conseguem realizar a rotação de culturas e, desta forma, não procedem com os três pilares do sistema, o que tem refletido na física do solo (BARROS, 2017).

Assim, essa prática não se caracteriza completamente como um sistema de plantio direto, podendo ser definida apenas como uma semeadura direta. Consequentemente, além da dificuldade de se manter cobertura vegetal numa região tropical, a falta de diversidade de espécies no sistema reflete em palhadas com relações C:N específicas, ou seja, rápida ou lenta decomposição – à exemplo da cultura da soja e do milho. Ademais, a ausência da rotação de culturas resulta em uma homogeneidade de raízes e exsudatos no solo, o que também pode afetar a sustentabilidade do sistema (ROSA et al., 2017). Todos esses fatores, aliados ao manejo inadequado e, por certas vezes, inevitáveis, como a colheita com o solo úmido, ocasionaram problemas relacionados à qualidade físico-hídrica do solo em nossa região.

Como os resíduos gerados pelas culturas comerciais normalmente cultivadas em nossa localidade (soja-milho) são insuficientes para manter uma adequada cobertura do solo, faz-se necessário introduzir plantas capazes de produzir grande quantidade de biomassa, especialmente no outono/inverno, de modo que o solo permaneça coberto o maior tempo possível e beneficie a implantação da próxima cultura de verão; além de aumentar a diversidade de raízes e as camadas exploradas, de modo a influenciar fisicamente, biologicamente e quimicamente as reações no solo (CAMPOS et al., 2013; MORO et al., 2013; TIECHER, 2016; KAHN & CHAWLA, 2017).

Na última década, uma das alternativas encontradas para minimizar os efeitos da ausência da rotação de culturas e, mesmo assim, manter os cultivos comerciais, foi o consórcio de milho cultivado no período de outono-inverno (milho safrinha) com gramíneas forrageiras. Desta forma, o interesse pelo cultivo de plantas produtoras de grãos consorciadas com forrageiras teve um crescimento significativo, tanto por parte de produtores rurais quanto de técnicos; o que alavancou a utilização dos sistemas integrados de produção (CECCON et al., 2013).

Na região Centro-Oeste do Brasil, o milho safrinha tornou-se uma importante espécie, especialmente quando cultivado em consórcio com outras gramíneas, destaque para as espécies de *Brachiaria* spp. e *Panicum* spp., contribuindo com um maior percentual de solo coberto e, assim, potencializando melhorias nas produtividades de culturas em sucessão, como a soja, especialmente em safras com veranicos (CECCON et al., 2013; CORDEIRO et al., 2015).

Vale ressaltar, portanto, que todas as possíveis combinações dentro dos sistemas de produção, tanto as espécies forrageiras empregadas quanto os manejos utilizados, podem interferir diretamente no estabelecimento e no desenvolvimento das culturas, além de influenciar na qualidade físico-hídrica do solo e, conseqüentemente, na produtividade das mesmas a partir das modalidades empregadas. Sendo assim, fica clara a importância do constante monitoramento da qualidade do solo, considerada fator determinante no sucesso de um sistema agrícola produtivo (ARATANI et al., 2009; TREVISAN et al., 2017).

Desta forma, a hipótese do trabalho é a de que os indicadores de qualidade físico-hídrica do solo irão identificar as mudanças impostas pelas diferentes modalidades estudadas, havendo melhorias a partir da introdução das forrageiras no sistema de cultivo de milho.

Neste contexto, objetivou-se avaliar o efeito do consórcio de milho safrinha com diferentes espécies de forrageiras, em diferentes manejos – com e sem supressão com herbicidas, sobre a qualidade físico-hídrica de um Latossolo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, C. T.; TEDESCO, J. C. A revolução verde e a modernização agrícola na mesorregião noroeste do Rio Grande do Sul – 1960/1970. **Teoria e Evidência Econômica**, v. 21, n. 45, p. 257-281, 2015.

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 3, p. 677-687, 2009.

BARROS, L. R. **Escarificação e gessagem na descompactação do solo sob sistema plantio direto**. 2017. 61p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Solo e Água) – Universidade Federal de Goiás, 2017.

BORTOLETI JUNIOR, A.; GONÇALVES, L. G.; RIBEIRO, M. A. R.; AFONSO, R. O.; SANTOS, R. F.; SOUZA, C. S. S. A importância do plantio direto e do plantio convencional e as suas relações com o manejo e conservação do solo. **Revista Conexão Eletrônica**, v. 12, n. 1, p. 1-11, 2015.

CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; BRASIL, E. L.; IWATA, B. F. Estoques e frações de carbono orgânico em Latossolo Amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 1, p. 304-312, 2013.

CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Sistema plantio direto: Evolução e implicações sobre conservação do solo e da água. In: CERETTA, C. A.; SILVA, L. S.; REICHERT, J. M. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.333-369.

CECCON, G.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Modalidades e métodos de implantação do consórcio milho-braquiária. In: CECCON, G. **Consórcio Milho-Braquiária**. n.1. Brasília, DF: Embrapa, 2013, p.27-46.

COLMAN, B. A. **Qualidade microbiológica do solo em sistemas integrados de produção agropecuária em três ambientes de Mato Grosso do Sul**. 2014. 78p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Produção Vegetal) – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, 2014.

CONCEIÇÃO, J. C. P.; CONCEIÇÃO, P. H. Z. **Agricultura: Evolução e importância para a balança comercial Brasileira**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2014. 37p.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; KLUTHCOUSKI, J.; JÚNIOR, G. B. M. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 15-53, 2015.

KAHLON, M. S.; CHAWLA, K. Effect of tillage practices on least limiting water range in Northwest India. **International Agrophysics**, v. 31, n. 1, p. 183-194, 2017.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **História das agriculturas no mundo: do neolítico à crise contemporânea**. São Paulo: Editora Unesp, 2010. 568p.

MORO, E.; CRUSCIOL, A. C.; NASCENTE, A. S.; CANTARELLA, H. Teor de nitrogênio inorgânico no solo em função de plantas de cobertura, fontes de nitrogênio e inibidor de nitrificação. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 4, p. 424-435, 2013.

RIBEIRO, L. S.; OLIVEIRA, I. R.; DANTAS, J. S.; SILVA, C. V.; SILVA, G. B.; AZEVEDO, J. R. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo coeso sob sistemas de manejo convencional e de plantio direto. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1699-1702, 2016.

ROCHA, K. F.; CASSOL, L. C.; PIVA, J. T.; MINATO, E. A.; FAVERSANI, J. C. Caracteres morfológicos e componentes de rendimento de milho sob diferentes sistemas de preparo de solo e plantas de cobertura de inverno. **Synergismus scyentifica**, v. 9, n. 1, p. 1-5, 2014.

ROSA, D. M.; NOBREGA, L. H. P.; MAULI, M. M.; LIMA, G. P.; PACHECO, F. P. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 221-230, 2017.

TIECHER, T. **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre: UFRGS, 2016. 187p.

TREVISAN, R. G.; FREDDI, O. S.; WRUCK, F. J.; TAVANTI, R. R.; PERES, F. S. C. Variabilidade de atributos físicos do solo e do arroz cultivado sob plantas de cobertura em sistema de integração lavoura-pecuária. **Bragantia**, v. 76, n. 1, p. 145-154, 2017.

CAPÍTULO I

ATRIBUTOS FÍSICOS E CAPACIDADE DE SUPORTE DE CARGA DE UM LATOSSOLO SOB MANEJOS E CONSÓRCIOS DE MILHO COM FORRAGEIRAS

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos do consórcio de milho safrinha com diferentes espécies de forrageiras, em diferentes manejos supressivos, sobre os atributos físicos e a capacidade de suporte de carga de um Latossolo. O experimento foi realizado no município de Dourados, MS, entre os anos de 2014 e 2015. Foram avaliados 11 tratamentos, sendo eles: milho solteiro; milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sem e com supressão através de herbicida; milho consorciado com *Panicum maximum* cv. Mombaça sem e com supressão através de herbicida; milho consorciado com *B. brizantha* cv. BRS Piatã sem e com supressão através de herbicida; milho consorciado com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses sem e com supressão através de herbicida; milho consorciado com *B. brizantha* cv. Xaraés sem e com supressão através de herbicida. Foram coletadas amostras de solo centralizadas nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, sendo avaliados: densidade do solo, resistência à penetração, porosidade total, microporosidade, macroporosidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, capacidade de água disponível e capacidade de suporte de carga. As médias dos dados obtidos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e as variáveis submetidas também à análise de agrupamento. A introdução de forrageiras no sistema de produção de milho safrinha, por meio do consórcio milho-forrageiras, proporciona melhorias à qualidade física do solo. O consórcio com *Brachiaria ruziziensis* cv. Ruzizienses, a partir do manejo sem supressão, e com *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã, com base no manejo com supressão, destacaram-se entre os demais no que se refere aos atributos físicos e à capacidade de suporte de carga de um Latossolo. A utilização do manejo supressivo das forrageiras, durante duas safras de cultivo, não interferem sobre as variáveis físicas estudadas.

Palavras-chave: Qualidade físico-hídrica, compactação, densidade do solo.

CHAPTER I

PHYSICAL PROPERTIES AND LOAD SUPPORT CAPACITY OF OXISOL UNDER MANAGEMENT AND INTERCROPPING OF CORN WITH FORAGE

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effects of the maize consortium with different forage species, in different suppressive management, on the physical attributes and the load bearing capacity of an Oxisol. The experiment was carried out in the municipality of Dourados, MS, between the years 2014 and 2015. Eleven treatments were performed: single corn; corn intercropped with *Brachiaria brizantha* cv. Marandu without and with suppression by herbicide; corn intercropped with *Panicum maximum* cv. Mombasa without and with suppression by herbicide; corn intercropped with *B. brizantha* cv. BRS Piatã without and with suppression by herbicide; corn intercropped with *B. ruziziensis* cv. Ruzizians without and with suppression by herbicide; corn intercropped with *B. brizantha* cv. Xaraés without and with suppression by herbicide. Soil samples were collected at depths of 0-10 and 10-20 cm. Soil density, penetration resistance, total porosity, microporosity, macroporosity, field capacity, permanent wilting point and water theoretically available were evaluated. The averages of the obtained data were compared by the Tukey test ($p < 0,05$) and the variables also submitted to cluster analysis. The introduction of fodder in the maize production system, through the maize-forage consortium, provides improvements to the physical quality of the soil. The consortium with *Brachiaria ruziziensis* cv. Ruzizienses, from management without suppression, and with *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã, based on the management with suppression, stood out among the others with regard to the physical attributes and the load bearing capacity of an Oxisol. The use of the suppressive management of forages during two crop seasons does not interfere on the studied physical variables.

Keywords: Physical-hidric quality, compression, soil density.

INTRODUÇÃO

A mudança de uma área nativa para um sistema de exploração agropecuária provoca profundas alterações nos atributos do solo, interferindo em todos seus processos. Desta forma, o entendimento desses fatores e a preocupação com a sua qualidade e o seu uso sustentável, especialmente nos últimos anos, tem-se tornado tema de crescente relevância (GUARESCHI et al., 2013; SALTON et al., 2014).

O consórcio entre espécies e a utilização de sistemas integrados de produção agrícola, assim como outras práticas de manejo consideradas conservacionistas, apresentam-se como alternativas viáveis na busca pela sustentabilidade. Neste sentido, sistemas de produção que resultam em incremento de palhada e aumento nos teores de matéria orgânica são apontados como mais eficientes, sendo a manutenção dos resíduos agrícolas em cobertura e o não revolvimento do solo durante o preparo de semeadura, fatores importantes para a melhoria da sua qualidade (KAHLON & CHAWLA, 2017).

Uma das dificuldades do sistema de plantio direto, especialmente em condições tropicais, é manter o solo coberto a todo momento devido à alta taxa de decomposição vegetal. Assim, o cultivo de milho safrinha com forrageiras se tornou uma alternativa para aumentar a produção de palha nessas regiões, tendo em vista que a produção de massa continua mesmo após a colheita do milho (CECCON et al., 2013; LOSS et al., 2013), o que pode ser controlado a qualquer momento pelo manejo com herbicidas para a supressão das gramíneas (XAVIER, 2017). Ademais, a consorciação resulta ainda em uma maior heterogeneidade de raízes e exsudatos no solo, o que também pode influenciar positivamente na sustentabilidade dos sistemas agrícolas (ROSA et al., 2017).

A introdução de outras espécies no sistema de produção de milho por meio do consórcio com forrageiras, entre elas *Brachiaria* spp. e *Panicum* spp., assim como os manejos supressivos empregados, podem interferir nos atributos físicos do solo e na capacidade de suporte de carga. Desta forma, a escolha adequada da espécie e a sua condução é de extrema importância para o sucesso do sistema, pois esses fatores podem afetar positivamente ou negativamente no desenvolvimento das plantas, devido às suas ações na qualidade estrutural do solo através das possíveis interferências no impedimento mecânico ao sistema radicular, à capacidade de suporte de carga, ao volume de solo explorado, à capacidade de absorção de água e à capacidade de absorção nutrientes através da solução do solo, o que reflete diretamente nas produtividades das

culturas e está relacionado com: densidade do solo, compressibilidade, pressão de pré-consolidação, resistência à penetração, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e capacidade de água disponível (GUBIANI et al., 2013; SANTOS, 2016).

Logo, estes indicadores são sensíveis às mudanças causadas pela introdução de uma outra espécie no sistema, o que permite a sua utilização como ferramenta na escolha por sistemas de produção sustentáveis, pois a capacidade produtiva deste recurso natural está relacionada com estes parâmetros.

Neste contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos do consórcio de milho safrinha com diferentes espécies de forrageiras, em diferentes manejos supressivos, sobre os atributos físicos e a capacidade de suporte de carga de um Latossolo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em uma área pertencente à Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), no município de Dourados, Mato Grosso do Sul, entre os anos de 2014 e 2015. O local situa-se em latitude de 22° 23' 30" S, longitude de 54° 99' 78" W e altitude de 434 m (Figura 1).

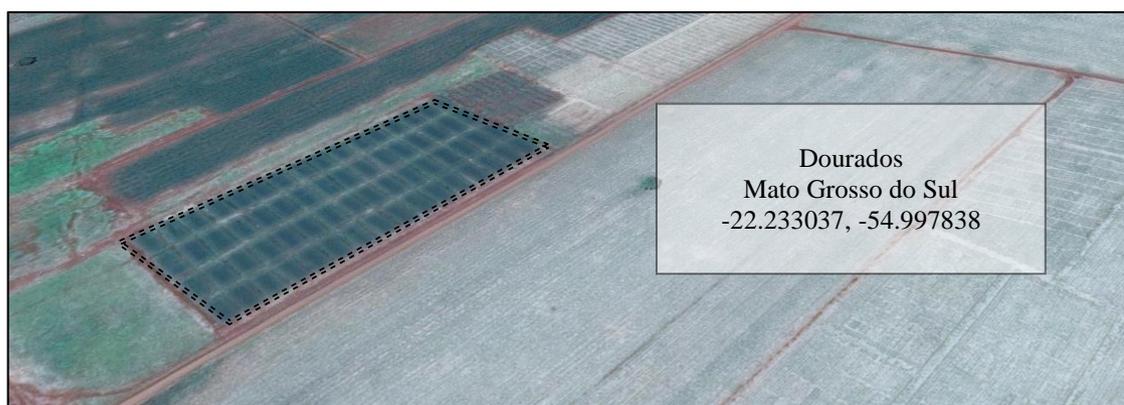


FIGURA 1. Imagem aérea (satélite) da área experimental. Fonte: Google Earth (2017).

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Am (clima tropical monçônico), com temperatura média do mês mais frio do ano $>18^{\circ}\text{C}$, estação invernosausente, precipitação total anual média $>1500\text{ mm}$ e precipitação do mês mais seco $<60\text{ mm}$ (ALVARES et al., 2013). As variáveis climáticas de “precipitação”, “temperatura média” e “umidade relativa”, durante a condução do estudo, estão apresentadas na Figura 2.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (SANTOS et al., 2013), com teor de argila de 560 g kg^{-1} , areia 350 g kg^{-1} e silte 90 g kg^{-1} , ou seja, de textura argilosa.

O estudo constituiu da avaliação de atributos físico hídricos do solo após o consórcio de milho safrinha com diferentes forrageiras, submetidas a distintos manejos - com ou sem supressão através de herbicida, comparativamente ao milho solteiro.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com quatro repetições e constituídos por 11 tratamentos avaliados: milho solteiro (MS); milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sem supressão com herbicida (MASS); milho consorciado com *Panicum maximum* cv. Mombaça sem supressão com herbicida (MOSS); milho consorciado com *B. brizantha* cv. BRS Piatã sem supressão

com herbicida (PISS); milho consorciado com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses sem supressão com herbicida (RUSS); milho consorciado com *B. brizantha* cv. Xaraés sem supressão com herbicida (XASS); milho consorciado com *B. brizantha* cv. Marandu com supressão através de herbicida (MACS); milho consorciado com *P. maximum* cv. Mombaça com supressão através de herbicida (MOCS); milho consorciado com *B. brizantha* cv. BRS Piatã com supressão através de herbicida (PICS); milho consorciado com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses com supressão através de herbicida (RUCS); milho consorciado com *B. brizantha* cv. Xaraés com supressão através de herbicida (XACS).

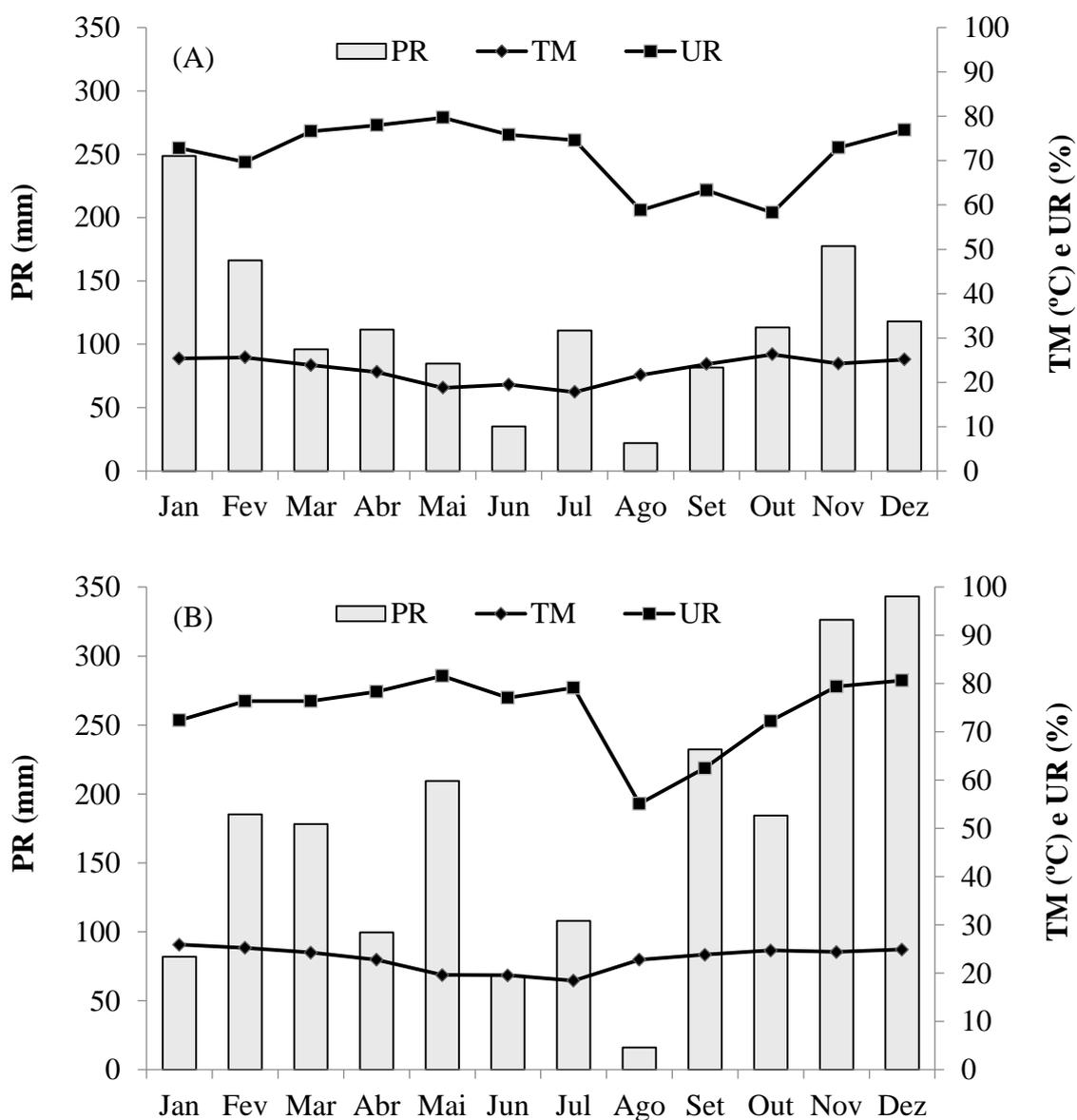


FIGURA 2. Dados mensais de precipitação (PR), temperatura média (TM) e umidade relativa (UR), durante os anos experimentais de 2014 (A) e 2015 (B), entre janeiro e dezembro. Fonte: Embrapa Agropecuária Oeste (2017).

Cada parcela experimental contou com 15 m de largura e 20 m de comprimento, totalizando 300 m². A semeadura do milho e das forrageiras foi realizada na primeira quinzena do mês de março no ano de 2014 e na segunda quinzena de março no ano de 2015, após a colheita da soja durante a safra 2014/2015. Para a semeadura das forrageiras foi utilizada uma semeadora-adubadora, modelo TD, de oito linhas distanciadas entre si a 0,4 m, regulada para distribuir 20 sementes por metro e objetivando obter estande de 10 a 12 plântulas, não sendo utilizada adubação na base.

A semeadura do milho híbrido simples DKB 177 VT PRO foi realizada imediatamente à semeadura das forrageiras, utilizando uma semeadora adubadora pneumática com quatro linhas espaçadas entre si a 0,9 m, regulada para distribuir 6 sementes por metro e 250 kg ha⁻¹ de NPK na fórmula 08-20-20. Após a colheita do milho, em 2014, as forrageiras foram mantidas na área até o mês de setembro, sendo dessecadas com a utilização de 6 L ha⁻¹ do herbicida Glifosato.

Após a dessecação, foi semeado no mês de outubro de 2014 a cultura da soja, variedade BMX Potência RR, utilizando-se uma semeadora pneumática de sete linhas, espaçadas entre si a 0,45 metros e regulada para distribuir 15 sementes por metro, com cerca de 300 kg ha⁻¹ de NPK na fórmula 00-20-20. Posteriormente, no ano de 2015, novamente as forrageiras e o milho foram semeados durante o período de safrinha, da mesma maneira como realizado no ano anterior. A supressão das forrageiras, nos tratamentos correspondentes, foi realizada por meio de pulverização de 6 g ha⁻¹ do princípio ativo nicosulfuron, aplicado quando as plântulas das forrageiras estavam no estágio de 3 a 4 perfilhos.

Em setembro de 2015, antes da semeadura da soja 2015/2016, amostras de solo foram coletadas com estrutura preservada, em cilindros metálicos de 83 cm³, raio de 3,22 cm e 2,55 cm de altura, nas entrelinhas da cultura do milho que já havia sido colhido, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, ou seja, centralizados nas profundidades de 5 cm e 15 cm. Foram coletadas 7 amostras em cada parcela e em cada profundidade, sendo 56 amostras por tratamento (28 amostras em cada profundidade). Totalizando 616 amostras que foram levadas ao laboratório para análises.

Os atributos físicos estudados foram analisados no Laboratório de Física do Solo da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), sendo eles: textura do solo com uso de NaOH como dispersante (CLAESSEN et al., 1997), densidade de partículas pelo método do balão volumétrico (CLAESSEN et al., 1997), densidade do solo (DS) pelo método do anel de Kopecky (CLAESSEN et al.,

1997), resistência à penetração (RP) com a utilização de penetrômetro de bancada (BRADFORD, 1986), porosidade total (PT) através do cálculo envolvendo a DP e a DS (CLAESSEN et al., 1997), microporosidade (MI) com a utilização de mesa de tensão com 60 cm de coluna de água (CLAESSEN et al., 1997), macroporosidade (MA) pela diferença entre a PT e a MI (CLAESSEN et al., 1997), capacidade de campo (CC) determinada na tensão de 0,006 MPa (DARDENGO et al., 2010), ponto de murcha permanente (PMP) na tensão de 1,5 MPa (DARDENGO et al., 2010); capacidade de água disponível (CAD) calculada a partir dos valores de umidade volumétrica observados na curva de retenção para a CC e PMP (CENTURION & ANDRIOLI, 2000); e capacidade de suporte de carga (CSC) através de um ensaio de compressão uniaxial (DIAS JUNIOR, 1994).

As 28 amostras de cada tratamento (de cada profundidade) foram divididas em 7 grupos de 4 amostras, sendo cada grupo submetido 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, posteriormente submetidas à potenciais matriciais utilizando a mesa de tensão (-0,006 Mpa) e câmara de Richards aos seguintes potenciais: -0,004; -0,01; -0,033; -0,066; -0,1; -0,3 e -1,5 MPa, conforme Klute (1986).

Quando as amostras atingiram o equilíbrio nas referidas tensões foram determinadas a resistência do solo à penetração, utilizando um penetrômetro eletrônico de bancada com velocidade constante de penetração de 1 cm min^{-1} , com diâmetro de base de 4 mm e semiângulo de 30° , com a haste sendo introduzida no centro geométrico de cada amostra. As leituras obtidas nos 5 mm superiores e inferiores da amostra foram descartadas, visando eliminar o efeito da periferia, conforme proposto por Bradford (1986). A frequência de leituras de resistência à penetração correspondeu à coleta de um valor a cada 0,25 segundos, obtendo-se um total de 800 leituras por amostra, das quais um valor médio foi utilizado.

Após este processo as amostras foram levadas à um consolidômetro automático, modelo CNTA-IHM/BR-001/07, para um 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 seja alcançada (HOLTZ & KOVACS, 1981). Após os ensaios de compressão uniaxial, as amostras foram levadas à estufa a

105-110 °C, por 48 horas, para determinar a umidade volumétrica e a densidade do solo pelo método do anel volumétrico conforme Donagema et al. (2011).

A curva de compressão do solo foi obtida colocando-se as pressões aplicadas no eixo das abscissas versus a densidade do solo obtida ao final de cada estágio de aplicação de cada pressão, no eixo das ordenadas, sendo determinada a pressão de preconsolidação (σ_p) para cada amostra, utilizando-se o método proposto por Dias Junior e Pierce (1996).

As comparações entre os modelos foram realizadas de acordo com o teste de homogeneidade de modelos lineares descrito em Snedecor e Cochran (1989). Para obtenção dos modelos lineares a partir do modelo exponencial [$\sigma_p = 10^{(a+b\theta)}$] foi aplicado o logaritmo nos valores de pressão de preconsolidação, resultando em uma equação do tipo $\log \sigma_p = a + b\theta$. Este teste 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 letras “a” e “b” representam os coeficientes empíricos de ajuste do modelo, ou seja, o coeficiente linear e angular, respectivamente.

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

Os dados obtidos (DS, RP, PT, MI, MA, CC, PMP e CAD, exceto CSC) foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias das variáveis foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Os atributos avaliados também foram submetidos à análise de agrupamento (*cluster analysis*) através do método do vizinho mais distante (*complete linkage*) e a partir da distância euclidiana, para descrever a similaridade entre os sistemas de produção estudados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização de forrageiras no sistema de produção de milho safrinha, por meio da modalidade de consórcio e com o manejo sem a supressão com herbicidas, interfere na resistência à penetração de raízes (RP) ao menos em uma das duas profundidades estudadas (0-10 e 10-20 cm), exceto para a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. A utilização de *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses e a *B. brizantha* cv. Xaraés diminuiu os valores de RP quando comparado com o milho solteiro em ambas as profundidades, correspondendo em uma redução de 21,6 e 17,4% para 0-10 cm e de 23,8 e 14,8% para 10-20 cm, respectivamente (Quadro 1).

QUADRO 1. Densidade do solo (DS), resistência à penetração de raízes (RP), porosidade total (PT), microporosidade (MI), macroporosidade (MA), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de água disponível (CAD), nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, após o consórcio de milho safrinha com diferentes forrageiras sem a supressão com herbicidas.

Tratamentos	DS (g cm ⁻³)	RP (MPa)	PT -----	MI %	MA -----	CC -----	PMP m ³ m ⁻³	CAD -----
----- 0-10 cm -----								
MASS	1,53	1,91 ab	42,3	31,4	10,9	0,31	0,25	0,06
MOSS	1,55	1,90 ab	41,5	31,4	10,1	0,31	0,27	0,04
PISS	1,56	1,88 ab	41,1	32,1	9,0	0,32	0,25	0,07
RUSS	1,52	1,71 b	42,8	32,6	10,1	0,33	0,28	0,05
XASS	1,53	1,80 b	42,3	31,7	10,6	0,31	0,25	0,06
MS	1,56	2,18 a	41,0	32,0	9,0	0,31	0,28	0,03
CV(%)	4,15	8,53	6,02	7,96	25,0	5,92	5,84	37,9
----- 10-20 cm -----								
MASS	1,57	2,14 ab	40,5	32,2	8,3	0,32 ab	0,26	0,06
MOSS	1,58	1,92 b	40,5	33,0	7,5	0,34 a	0,28	0,06
PISS	1,55	1,87 b	41,5	32,7	8,9	0,32 ab	0,25	0,07
RUSS	1,54	1,86 b	42,0	33,0	8,5	0,34 a	0,26	0,08
XASS	1,56	2,08 b	41,3	33,8	7,5	0,33 ab	0,25	0,08
MS	1,59	2,44 a	40,3	32,9	7,4	0,31 b	0,26	0,05
CV(%)	1,41	6,58	2,26	6,00	23,1	3,61	5,92	27,4

Médias seguidas de letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. MASS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sem supressão com herbicidas. MOSS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça sem supressão. PISS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã sem supressão. RUSS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses sem supressão. XASS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés sem supressão. MS: Milho solteiro.

A capacidade de campo (CC), também apresentou diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos estudados na profundidade de 10-20 cm,

onde a *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses, juntamente com o *Panicum maximum* cv. Mombaça, novamente apresentou-se superior ao milho solteiro. Entretanto, essa diferença ficou restrita à CC e não se refletiu na quantidade de capacidade de água disponível (CAD) para as plantas ($p < 0,05$). Todas as demais variáveis (DS, PT, MI, MA, PMP e CAD) apresentaram-se estatisticamente semelhantes para o manejo sem a supressão com herbicidas (Quadro 1).

Já quando comparadas as forrageiras suprimidas com nicosulfuron, as mesmas apresentaram diferenças significativas entre si ainda também para as variáveis DS e PT (Quadro 2), apesar de não haver nenhuma diferença para o manejo sem e com supressão (Quadro 3).

QUADRO 2. Densidade do solo (DS), resistência à penetração das raízes (RP), porosidade total (PT), microporosidade (MI), macroporosidade (MA), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de água disponível (CAD), nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, após o consócio de milho safrinha com diferentes forrageiras suprimidas com o herbicida nicosulfuron.

Tratamentos	DS (g cm ⁻³)	RP (MPa)	PT ----- % -----	MI	MA	CC	PMP ----- m ³ m ⁻³ -----	CAD
----- 0-10 cm -----								
MACS	1,55 a	1,76 b	41,8 ab	33,0	8,8	0,34	0,26	0,07
MOCS	1,53 ab	1,95 ab	42,0 ab	33,1	8,9	0,33	0,27	0,06
PICS	1,48 b	1,69 b	44,3 a	32,8	11,5	0,32	0,25	0,07
RUCS	1,55 a	1,82 ab	41,5 b	32,9	8,6	0,32	0,27	0,05
XACS	1,56 a	1,92 ab	41,3 b	32,5	8,8	0,32	0,27	0,05
MS	1,56 a	2,18 a	41,3 b	33,0	8,3	0,31	0,28	0,03
CV(%)	1,93	9,49	2,70	5,59	19,4	4,84	7,70	43,9
----- 10-20 cm -----								
MACS	1,56 ab	2,29 ab	41,0 abc	33,1	7,9	0,33 ab	0,28	0,06
MOCS	1,57 ab	1,92 bc	40,5 bc	33,8	6,8	0,37 a	0,29	0,07
PICS	1,51 b	2,11 abc	43,3 a	33,9	9,4	0,33 b	0,25	0,08
RUCS	1,52 ab	1,84 c	42,8 ab	33,0	9,8	0,35 ab	0,27	0,08
XACS	1,53 ab	2,21 abc	42,3 abc	32,2	10,1	0,33 b	0,27	0,06
MS	1,59 a	2,44 a	40,3 c	32,9	7,4	0,31 b	0,26	0,05
CV(%)	2,06	8,50	2,60	9,73	42,2	5,28	8,71	31,3

Médias seguidas de letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. MACS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com supressão através de nicosulfuron. MOCS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça com supressão. PICS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã com supressão. RUCS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses com supressão. XACS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés com supressão. MS: Milho solteiro.

Nesta situação, a *B. brizantha* cv. BRS Piatã destacou-se entre as forrageiras no que se refere às variáveis DS, RP e PT, e apresentou-se estatisticamente superior ao milho solteiro em ambas profundidades estudadas, exceto para RP em subsuperfície (10-20 cm). Os demais atributos avaliados (MI, MA, CC, PMP e CAD) não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$), com exceção da CC para a profundidade de 10-20 cm, onde o consórcio com *Panicum maximum* cv. Mombaça novamente foi superior ao milho cultivado solteiro (Quadro 2).

QUADRO 3. Densidade do solo (DS), resistência à penetração das raízes (RP), porosidade total (PT), microporosidade (MI), macroporosidade (MA), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e capacidade de água disponível (CAD), nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, com e sem a supressão de forrageiras consorciadas com milho safrinha.

Tratamentos	DS (g cm ⁻³)	RP (MPa)	PT ----- % -----	MI ----- % -----	MA	CC	PMP ----- m ³ m ⁻³ -----	CAD
----- 0-10 cm -----								
SS	1,54	1,84	42,0	31,8	10,0	0,32	0,26	0,05
CS	1,54	1,83	42,2	32,9	9,8	0,32	0,26	0,06
CV (%)	2,95	5,54	4,07	5,88	24,8	5,75	6,15	30,4
----- 10-20 cm -----								
SS	1,56	1,97	41,2	33,5	9,0	0,33	0,26	0,07
CS	1,55	2,07	42,0	33,2	8,6	0,34	0,27	0,07
CV (%)	2,15	9,94	3,05	10,2	41,9	4,15	5,99	26,9

Médias seguidas de letras diferentes nas colunas diferem entre si pelo teste T, a 5% de probabilidade. SS: Sem a supressão com herbicidas. CS: Com a supressão através de nicosulfuron.

Diante do exposto, outros estudos corroboram com os resultados obtidos neste trabalho. Diogenes et al. (2016), estudando a resistência à penetração (RP) em um Latossolo sob monocultivos e consórcio de gramíneas, verificaram que a RP do sistema de consórcio é menor que o sistema de monocultivo com milho solteiro na profundidade de 0-30 cm. Rocha et al. (2014), avaliando o efeito da utilização de braquiária nas entrelinhas da cultura principal, também verificaram efeito positivo da gramínea no sistema, através de suas raízes sobre os atributos físico-hídricos do solo.

Já Santos (2016), concluiu que a consorciação de milho com forrageiras proporcionou modificação nas propriedades físicas do solo, com aumento para macroporosidade e porosidade total e diminuição significativa da densidade nas camadas 0,0-0,10 e 0,10-0,20 m. Resultados semelhantes novamente foram verificados

por Seidel et al. (2014), onde o consórcio de braquiária com milho promoveu aumento na porosidade total do solo e redução na densidade do solo (SEIDEL et al., 2014).

Com relação, ainda, à utilização do manejo supressivo das forrageiras, no período em que o estudo foi conduzido, verifica-se que o mesmo não interferiu em nenhum dos atributos físicos estudados (Quadro 3), o que demonstra que esta prática não apresenta influência negativa no que se trata da qualidade física do solo e isso se reflete em sua possibilidade de utilização mesmo em áreas com possíveis problemas estruturais e de compactação.

Na análise de agrupamento, desenvolvida com o objetivo de associar os sistemas avaliados com características comuns, observou-se a formação de dois grandes grupos distintos com relação aos atributos físicos do solo na profundidade de 0-10 cm; esses grupos não apresentaram nenhuma similaridade entre si, uma vez que a distância de dissimilaridade foi de 100%. O primeiro grupo englobou apenas o sistema de cultivo com milho solteiro, o que demonstra que este tratamento avaliado é totalmente diferente dos demais. No outro grupo, observou-se a formação de dois níveis de agrupamentos (subgrupos) distintos, com apenas 26% de dissimilaridade, ou seja, 74% de semelhança. O primeiro nível, formado pelos tratamentos MASS, XACS, MOSS, PISS e MACS, apresentou similaridade de 84%; já o segundo nível, formado por RUSS, PICS, XASS, RUCS e MOCS, semelhança de 78% (Figura 3).

No que se refere à profundidade de 10-20 cm, foram formados novamente dois grandes grupos com 100% de dissimilaridade. No entanto, o primeiro grupo foi formado por MS, MASS, XASS, PICS, XACS e MACS, e o segundo grupo por MOSS, MOCS, PISS, RUSS e RUCS. Apesar do MS não ter formado um grande grupo sozinho como na profundidade de 0-10 cm, o mesmo apresentou 94% de dissimilaridade dos demais componentes de seu grupo, ou seja, apresentou-se apenas 6% semelhante aos sistemas MASS, XASS, PICS, XACS e MACS e, ainda, totalmente diferente (0% de similaridade) dos demais sistemas: MOSS, MOCS, PISS, RUSS e RUCS (Figura 4).

A formação desses grupos demonstram, novamente, os efeitos positivos em ambas as profundidades para a qualidade física do solo após a introdução das forrageiras no sistema de produção de milho (Figuras 3 e 4). Lima Filho et al. (2014), afirmam que a introdução de outras espécies no sistema e, com isso, o aumento de aporte orgânico, reflete em maior matéria orgânica e garante a reestruturação ou a manutenção da estrutura dos solos, com efeitos sobre a densidade, a estabilidade de agregados e a dinâmica da água, entre outros fatores.

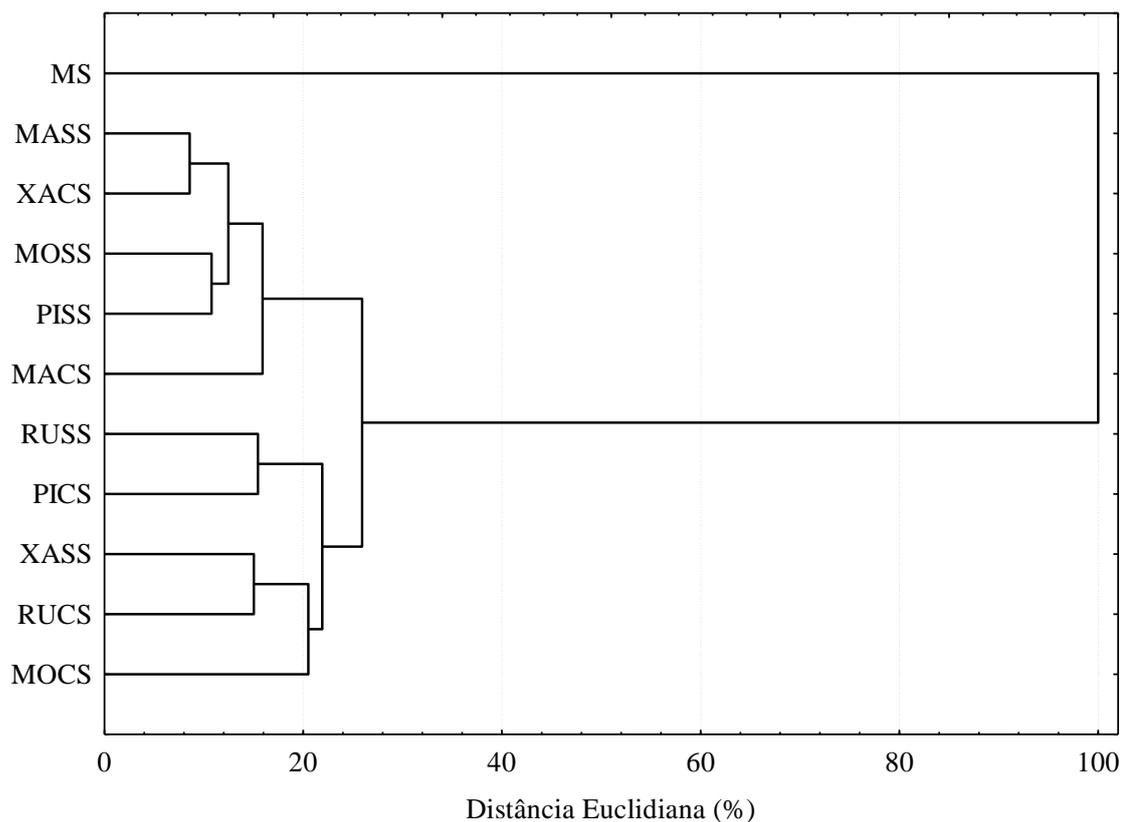


FIGURA 3. Dendrograma de dissimilaridade entre os sistemas de produção estudados, avaliando-se os atributos físicos do solo na profundidade de 0-10 cm, com base nas distâncias euclidianas através do método do vizinho mais distante. MS: Milho solteiro. MASS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sem supressão com herbicidas. MOSS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça sem supressão. PISS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã sem supressão. RUSS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses sem supressão. XASS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés sem supressão. MACS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com supressão através de nicosulfuron. MOCS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça com supressão. PICS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã com supressão. RUCS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses com supressão. XACS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés com supressão.

Atualmente existem diversos estudos que avaliaram a influência das forrageiras em consórcio com milho sobre a produtividade do mesmo (SANTOS et al., 2014), e os resultados são distintos; alguns pesquisadores concluíram que esta modalidade afeta a produtividade do milho (CRUZ et al., 2009; SILVA et al., 2015) e outros autores que a mesma não é alterada pela introdução das forrageiras (SEIDEL et al., 2014; SANTOS, 2016; ALMEIDA et al., 2017). No entanto, os benefícios para as culturas de sucessão são evidentes, sendo que o cultivo de braquiárias durante o outono-inverno aumenta a

produtividade de grãos da soja (BALBINOT JUNIOR et al., 2017; MECCHI, 2017), onde o impacto das raízes das braquiárias sobre a produtividade é mais expressivo do que a própria palha; contudo, a presença combinada de raízes e palha confere melhor desempenho à soja do que as respectivas presenças isoladas (BALBINOT JUNIOR et al., 2017).

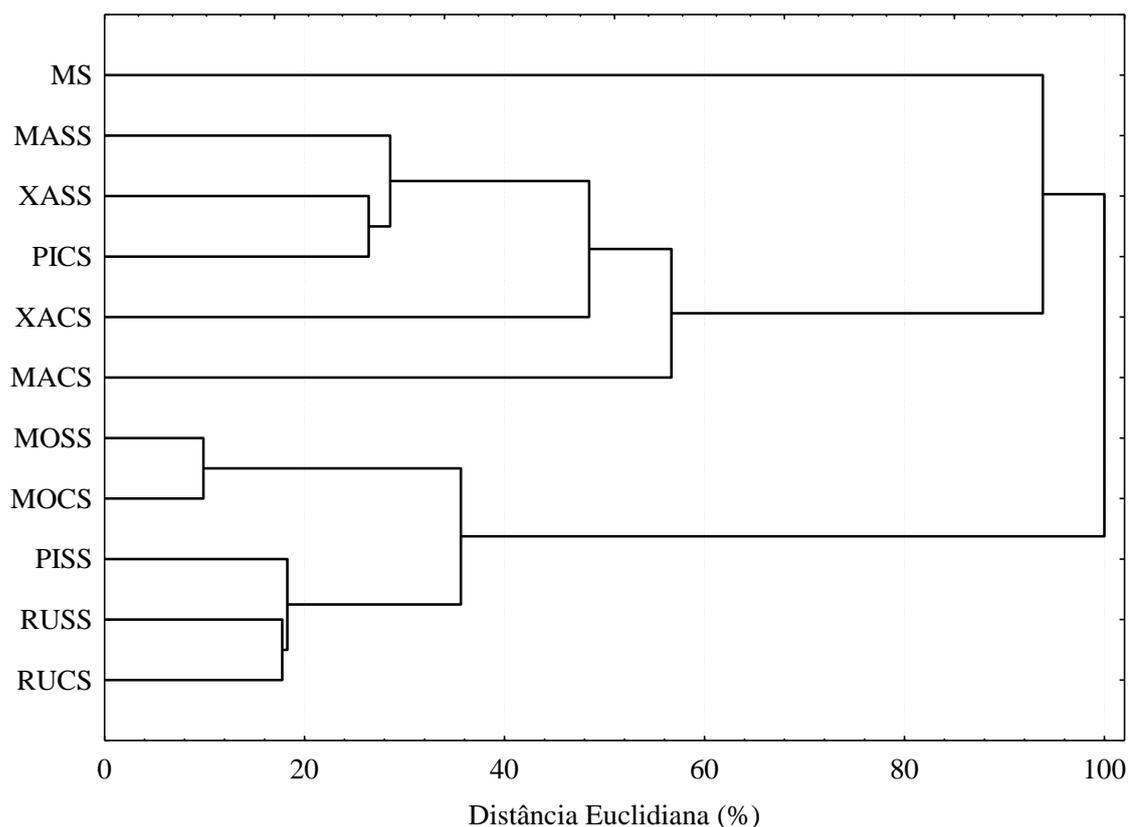


FIGURA 4. Dendrograma de dissimilaridade entre os sistemas de produção estudados, avaliando-se os atributos físicos do solo na profundidade de 10-20 cm, com base nas distâncias euclidianas através do método do vizinho mais distante. MS: Milho solteiro. MASS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sem supressão com herbicidas. MOSS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça sem supressão. PISS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã sem supressão. RUSS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses sem supressão. XASS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés sem supressão. MACS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com supressão através de nicosulfuron. MOCS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça com supressão. PICS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã com supressão. RUCS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses com supressão. XACS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés com supressão.

O maior efeito das raízes para a produção deve estar relacionado com os benefícios das forrageiras para a qualidade física do solo, conforme os dados obtidos

neste trabalho. Esses resultados podem estar relacionados com a formação de bioporos, também chamados de canalículos, gerados pelo povoamento seguido da decomposição de raízes ou então pela atividade da macrofauna que pode ser atraída pela introdução dessas culturas. Essas fendas e canais abertos entre os agregados ou estruturas maiores, abrem novas rotas e fazem com que as raízes sigam predominantemente esses caminhos, principalmente quando a compactação e a resistência do solo são elevadas (ARAÚJO-JUNIOR et al., 2015).

Essas informações são reforçadas pela capacidade de suporte de carga (CSC) dos tratamentos avaliados, onde todas as curvas ajustadas para os modelos apresentaram coeficientes de determinação (R^2) significativos a 1 % ($p < 0,01$) pelo teste F, independente das profundidades e dos manejos estudados (Quadro 4).

Os intervalos de confiança dos coeficientes de ajuste dos modelos não incluíram valores iguais a zero e, desta forma, foram significativos de acordo com Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012). Vale ressaltar, ainda, que 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., 2010).

A variação do conteúdo de água no solo, no referido trabalho, variou do ponto de murcha permanente até a capacidade de campo, o que demonstrou que nesse intervalo de umidade a σ_p decresce linearmente com o incremento da umidade, como também observado por outros autores (SEVERIANO et al., 2010; GOMES, 2017; PELLIN, 2017). Porém, quando o solo se encontra em conteúdos de umidade superiores à capacidade de campo, o que também é comum em condições naturais, essa relação passa a ser exponencial, justificando o uso do ajuste não linear proposto (Quadro 4).

A fim de se avaliar as possíveis alterações da estrutura do solo causadas pelas diferentes forrageiras, os modelos de CSC foram comparados através do teste de homogeneidade proposto por Snedecor e Cochran (1989) (Quadros 5 e 6). Foram realizadas avaliações individuais entre todos os tratamentos e seus respectivos modelos, em suas respectivas profundidades. As comparações que não se diferenciaram foram consideradas homogêneas e uma nova equação foi ajustada para cada conjunto de dados, considerando todos os valores de CSC e θ (Figuras 5 e 6).

A partir do teste de homogeneidade, conforme Quadro 5, foram formados agrupamentos para os consórcios com as forrageiras sem a supressão através de herbicidas na profundidade de 0-10 cm.

QUADRO 4. 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), coletadas em duas profundidades de um Latossolo Vermelho Distroférico, submetido ao consócio de milho safrinha com diferentes forrageiras sem ou com supressão através de herbicidas.

Tratamento	a			B			R^2
	Valor estimado	Intervalo de confiança		Valor estimado	Intervalo de confiança		
		Li	Ls		Li	Ls	
----- 0-10 cm -----							
MASS	4,222	3,880	4,565	-5,223	-6,187	-4,259	0,95**
MOSS	4,367	4,072	4,662	-5,556	-6,388	-4,725	0,96**
PISS	3,594	3,082	4,106	-3,134	-4,396	-1,873	0,78**
RUSS	3,695	3,392	3,999	-3,804	-4,594	-3,014	0,92**
XASS	3,720	3,229	4,211	-3,382	-4,606	-2,157	0,80**
MACS	3,426	3,064	3,787	-3,036	-3,965	-2,107	0,84**
MOCS	3,546	3,310	3,782	-3,187	-3,794	-2,580	0,92**
PICS	4,015	3,789	4,240	-4,893	-5,519	-4,267	0,97**
RUCS	3,720	3,229	4,211	-3,382	-4,606	-2,157	0,80**
XACS	4,098	3,332	3,985	-4,585	-4,257	-2,566	0,90**
MS	4,062	3,550	4,574	-4,483	-5,792	-3,174	0,84**
----- 10-20 cm -----							
MASS	3,874	3,228	3,935	-3,659	-3,948	-2,137	0,85**
MOSS	3,654	2,934	3,788	-3,145	-3,633	-1,426	0,75**
PISS	3,292	2,960	3,624	-2,496	-3,376	-1,616	0,82**
RUSS	3,817	3,563	4,071	-4,149	-4,875	-3,422	0,95**
XASS	3,418	2,998	3,839	-2,744	-3,869	-1,620	0,78**
MACS	3,485	3,209	3,762	-2,922	-3,656	-2,188	0,89**
MOCS	3,732	3,506	3,957	-3,351	-3,954	-2,749	0,94**
PICS	3,795	3,559	4,030	-3,930	-4,584	-3,275	0,95**
RUCS	3,626	3,472	3,781	-3,619	-4,065	-3,174	0,97**
XACS	3,554	3,383	3,724	-3,248	-3,707	-2,788	0,96**
MS	4,055	3,499	4,403	-4,536	-5,288	-2,873	0,86**

Li e Ls: limite inferior e superior do intervalo de confiança a 95 %, respectivamente; **: significativo pelo teste “F” a 1 %. MASS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sem supressão com herbicidas. MOSS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça sem supressão. PISS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã sem supressão. RUSS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses sem supressão. XASS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés sem supressão. MACS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com supressão através de nicosulfuron. MOCS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça com supressão. PICS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã com supressão. RUCS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses com supressão. XACS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés com supressão. MS: Milho solteiro.

QUADRO 5. 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 0-10 e 10-20 cm, submetido ao consócio de milho safrinha com diferentes forrageiras sem supressão com herbicidas.

Tratamentos	F	F	
		Coefficiente angular (b)	Coefficiente linear (a)
----- 0-10 cm -----			
MASS vs MOSS	NH	*	**
MASS vs PISS	NH	**	ns
MASS vs RUSS	NH	**	*
MASS vs XASS	H	ns	*
MASS vs MS	NH	**	**
MOSS vs PISS	H	ns	**
MOSS vs RUSS	NH	**	ns
MOSS vs XASS	H	ns	**
MOSS vs MS	NH	**	*
PISS vs RUSS	NH	*	**
PISS vs XASS	H	ns	**
PISS vs MS	H	ns	**
RUSS vs XASS	NH	*	**
RUSS vs MS	NH	**	*
XASS vs MS	NH	**	ns
----- 10-20 cm -----			
MASS vs MOSS	H	ns	**
MASS vs PISS	NH	**	**
MASS vs RUSS	NH	*	*
MASS vs XASS	NH	**	**
MASS vs MS	H	ns	**
MOSS vs PISS	NH	*	*
MOSS vs RUSS	NH	**	**
MOSS vs XASS	NH	**	ns
MOSS vs MS	H	ns	ns
PISS vs RUSS	H	ns	**
PISS vs XASS	H	ns	**
PISS vs MS	NH	*	**
RUSS vs XASS	NH	**	**
RUSS vs MS	NH	*	ns
XASS vs MS	NH	**	ns

Ns: não significativo. *: significativo pelo teste “F” a 5 %. **: significativo pelo teste “F” a 1 %. MASS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sem supressão com herbicidas. MOSS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça sem supressão. PISS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã sem supressão. RUSS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses sem supressão. XASS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés sem supressão. MS: Milho solteiro. NH: Não homogêneo. H: Homogêneo.

Assim, foram agrupados: “Milho solteiro + Milho consorciado com *B. brizantha* cv. BRS Piatã”; “Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã + Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça + Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés”; “Milho com *B.*

brizantha cv. Xaraés + Milho com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu” e “Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses”. Formando as seguintes siglas: “MS+PISS”, “PISS+MOSS+XASS”, “XASS+MASS” e “RUSS”, respectivamente (Quadro 5).

QUADRO 6. 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 0-10 e 10-20 cm, submetido ao consócio de milho safrinha com diferentes forrageiras suprimidas com o herbicida nicosulfuron.

Tratamentos	F	F	
		Coeficiente angular (b)	Coeficiente linear (a)
----- 0-10 cm -----			
MACS vs MOCS	H	ns	*
MACS vs PICS	H	**	*
MACS vs RUCS	H	*	*
MACS vs XACS	NH	*	**
MACS vs MS	NH	**	**
MOCS vs PICS	H	**	**
MOCS vs RUCS	NH	*	**
MOCS vs XACS	NH	**	**
MOCS vs MS	NH	**	**
PICS vs RUCS	NH	ns	**
PICS vs XACS	NH	ns	*
PICS vs MS	NH	*	**
RUCS vs XACS	H	ns	Ns
RUCS vs MS	H	**	**
XACS vs MS	H	**	Ns
----- 10-20 cm -----			
MACS vs MOCS	H	ns	Ns
MACS vs PICS	H	*	*
MACS vs RUCS	H	ns	**
MACS vs XACS	H	ns	*
MACS vs MS	H	**	Ns
MOCS vs PICS	NH	*	**
MOCS vs RUCS	NH	ns	**
MOCS vs XACS	H	ns	**
MOCS vs MS	NH	**	*
PICS vs RUCS	H	ns	**
PICS vs XACS	NH	**	Ns
PICS vs MS	NH	ns	**
RUCS vs XACS	NH	ns	**
RUCS vs MS	NH	*	**
XACS vs MS	NH	**	*

Ns: não significativo. *: significativo pelo teste “F” a 5 %. **: significativo pelo teste “F” a 1 %. MACS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com supressão através de nicosulfuron. MOCS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça com supressão. PICS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã com supressão. RUCS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses com supressão. XACS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés com supressão. MS: Milho solteiro. NH: Não homogêneo. H: Homogêneo.

Já para a profundidade de 10-20 cm foram formados os agrupamentos: “Milho solteiro + Milho consorciado com *Panicum maximum* cv. Mombaça + Milho com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu”; “Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés + Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã” e “Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã + Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses”. Formando as seguintes siglas: “MS+MOSS+MASS”, “XASS+PISS” e “PISS+RUSS”, respectivamente (Quadro 5 e Figura 5).

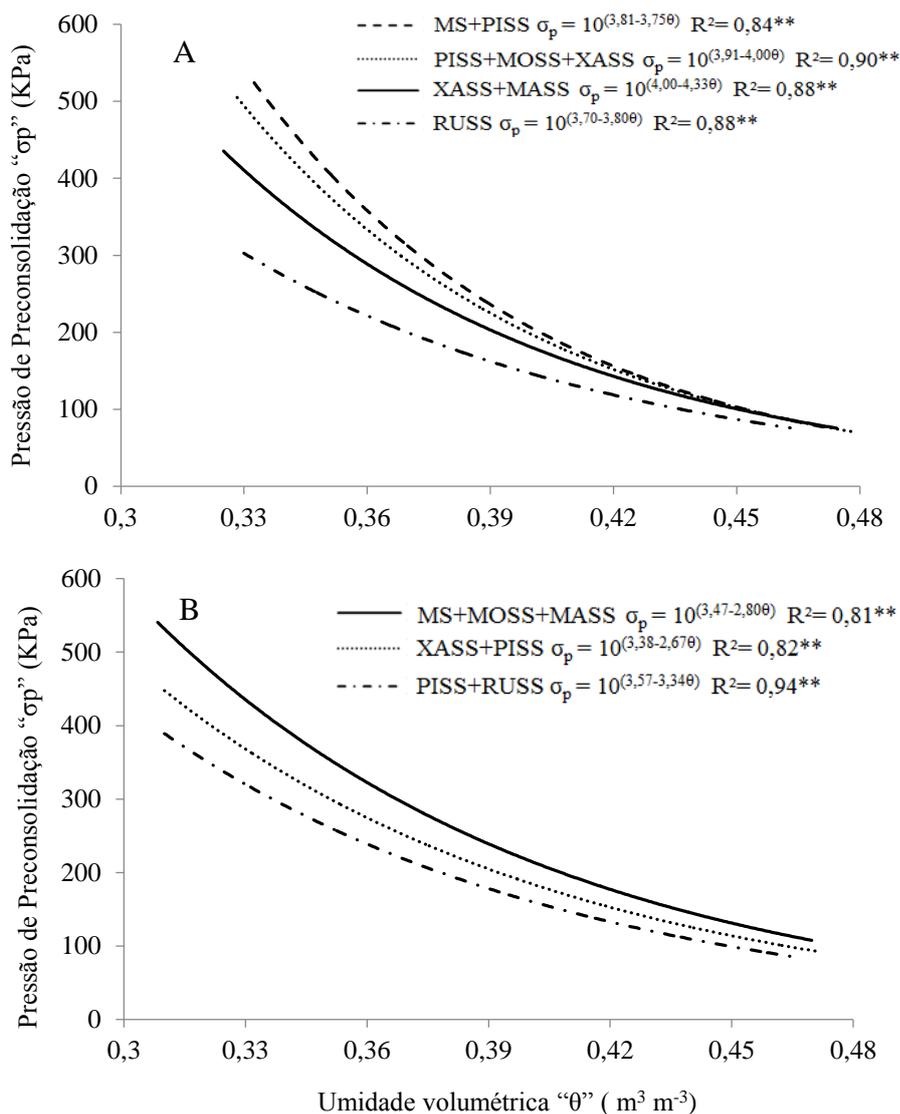


FIGURA 5. Modelos de capacidade de suporte de carga (CSC) para um Latossolo Vermelho Distroférico, nas profundidades de 0-10 (A) e 10-20 cm (B), após o consócio de milho safrinha com diferentes forrageiras sem supressão com herbicidas. MS: Milho solteiro. MASS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sem supressão com herbicidas. MOSS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça sem supressão. PISS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã sem supressão. RUSS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses sem supressão. XASS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés sem supressão.

Outro agrupamento foi realizado para os consórcios com as forrageiras suprimidas através de nicosulfuron, na profundidade de 0-10 cm, formando: “Milho solteiro + Milho consorciado com *B. brizantha* cv. Xaraés + Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses”; “Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses + Milho com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu” e “Milho com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu + Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã + Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça”. Formando as seguintes siglas: “MS+XACS+RUCS”, “RUCS+MACS” e “MACS+PICS+MOCS”. Já para a profundidade de 10-20 cm foram formados os agrupamentos: “Milho solteiro + Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu”; “Milho com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu + Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça + Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés”; “Milho com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu + Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses + Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã”. Formando as seguintes siglas: “MS+MACS”, “MACS+MOCS+XACS” e “MACS+RUCS+PICS” (Quadro 6 e Figura 6).

Em todos os modelos de CSC formados, verificou-se que a CSC variou inversamente com a umidade (θ), para as duas profundidades avaliadas (Figuras 5 e 6). Desta forma, quanto menor for a umidade maior será a resistência do mesmo às pressões externas, suportando maiores cargas sem que haja deformações (PACHECO & CANTALICE, 2011). Assim, com a diminuição da umidade no solo houve um aumento na CSC em todos tratamentos, conforme os resultados de diversos autores (ARAUJO JUNIOR et al., 2011; PACHECO & CANTALICE, 2011; PEREIRA et al., 2015; PRADO, 2015; GOMES, 2017; PELLIN, 2017). Tratando-se apenas do ponto de vista mecânico, solos com maiores CSC podem suportar máquinas mais pesadas e operações mecanizadas mais intensas com menores riscos de compactação, o que seria bom; no entanto, esse risco só é menor pois o mesmo já encontra-se compactado ou em processo de compactação, garantindo maior CSC.

Normalmente, as pressões médias aplicadas ao solo pelas máquinas agrícolas se situam entre 50 e 300 kPa, assim como entre 300 e 600 kPa por reboques e caminhões de apoio (RICHART et al., 2005). Considerando-se, portanto, uma máquina ou um conjunto que exerce uma pressão de 300 kPa sobre o solo para os tratamentos sem supressão de herbicidas, as umidades críticas na profundidade de 0-10 cm, nos agrupamentos com “MS+PISS”, “PISS+MOSS+XASS”, “XASS+MASS” e “RUSS”, seriam de 0,373; 0,368; 0,357 e 0,331 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, respectivamente; já para a profundidade de 10-20 cm, nos agrupamentos “MS+MOSS+MASS”, “XASS+PISS” e

“PISS+RUSS”, seriam de 0,367; 0,359; 0,331 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. No que se refere aos tratamentos com supressão, as umidades críticas na profundidade de 0-10 cm, nos agrupamentos com “MS+XACS+RUCS”, “RUCS+MACS” e “MACS+PICS+MOCS”, seriam de 0,367; 0,363 e 0,344 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$; já para a profundidade de 10-20 cm, nos agrupamentos “MS+MACS”, “MACS+MOCS+XACS” e “MACS+RUCS+PICS”, seriam de 0,368; 0,351 e 0,337 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. Vale ressaltar, portanto, que este conhecimento prévio da umidade crítica pode auxiliar no manejo agrícola e minimizar problemas relacionados à compactação do solo, uma vez que a mesma está associada com a qualidade física do solo e suas possíveis alterações.

A não obtenção de modelos de CSC individuais, com exceção para “RUSS” na profundidade de 0-10 cm, deve estar relacionada com o fato de o consórcio ter sido realizado com milho e espécies de forrageiras de mesma família ou gênero, com sistemas radiculares e aportes orgânicos semelhantes; ou, então, pela possibilidade do tempo de estudo não ter sido suficiente para determinar modelos que não fossem homogêneos, ou seja, individuais.

Os agrupamentos dos consórcios que receberam a supressão com herbicidas, na profundidade de 0-10 cm, apresentaram uma CSC decrescente na seguinte ordem ao longo de todo o intervalo de umidade: MS+PISS>PISS+MOSS+XASS>XASS+MASS >RUSS (Figura 5A). Assim como a seguinte ordem para a profundidade de 10-20 cm: MS+MOSS+MASS>XASS+PISS>PISS+RUSS (Figura 5B). O tratamento sem forrageira, com o milho solteiro (MS), esteve presente nos agrupamentos com as maiores curvas em ambas as profundidades (Figura 5), enquanto o tratamento com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses esteve individualmente presente na menor curva para a menor profundidade (Figura 5A) e no agrupamento com a menor curva na segunda profundidade (Figura 5B). Vale ressaltar, portanto, que a CSC deve ser elevada quando o solo apresenta um elevado grau de compactação presente, o que pode influenciar negativamente no desenvolvimento vegetal.

Nos tratamentos que receberam a supressão com herbicidas, na profundidade de 0-10 cm, a CSC apresentou-se decrescente nas menores umidades (até 0,409 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na seguinte ordem: MS+XACS+RUCS>RUCS+MACS>MACS+PICS+MOCS; com a inversão de “MS+XACS+RUCS” e “RUCS+MACS” nas maiores umidades obtidas (após 0,409 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) (Figura 6A). Como a seguinte ordem para a profundidade de 10-20 cm nas menores umidades (até 0,381 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$): MS+MACS>MACS+MOCS+XACS >MACS+RUCS+PICS; com a inversão de “MS+MACS” e “MACS+MOCS+XACS”

nas maiores umidades (após $0,381 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) (Figura 6B). Novamente observa-se que o tratamento MS manteve-se entre os agrupamentos formados pelas maiores curvas de CSC, em ambas profundidades, já a *B. brizantha* cv. BRS Piatã esteve presente nos agrupamentos com as menores curvas de CSC, também em ambas as profundidades estudadas (Figura 6).

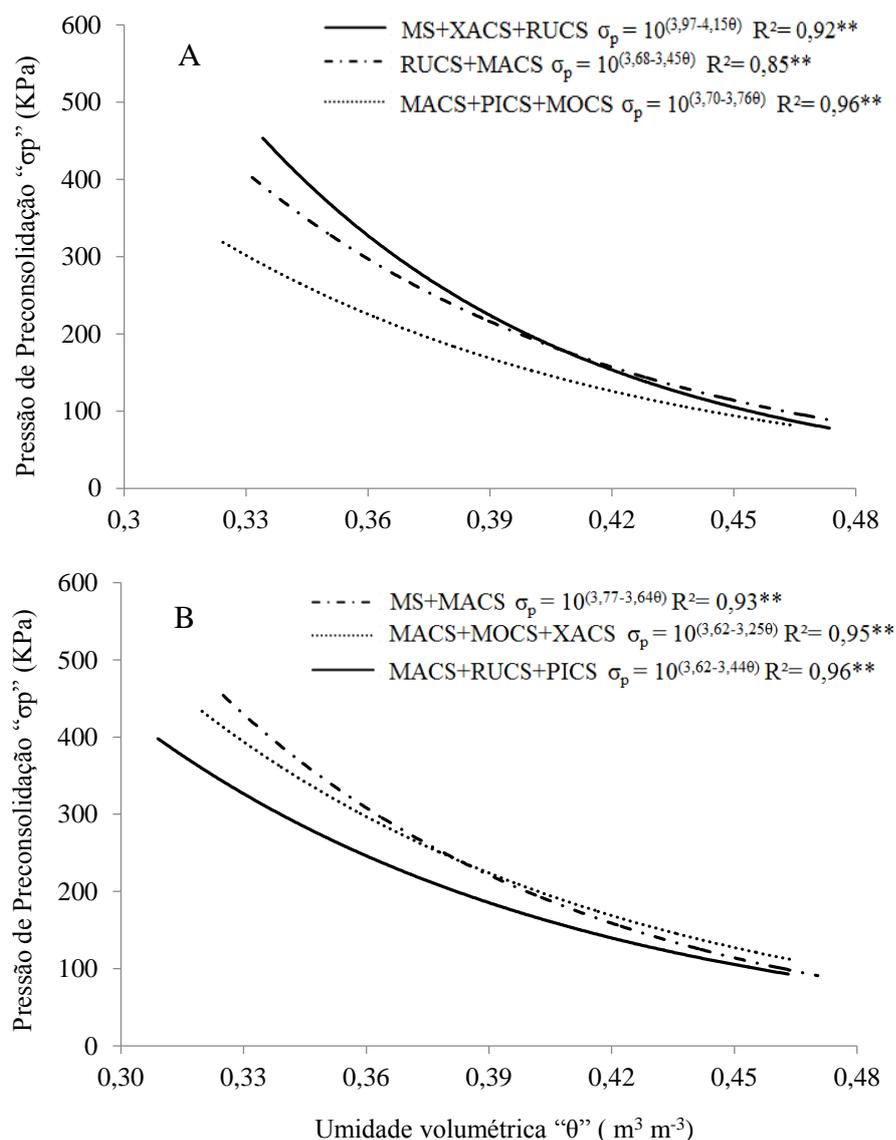


FIGURA 6. Modelos de capacidade de suporte de carga (CSC) para um Latossolo Vermelho Distroférico, nas profundidades de 0-10 (A) e 10-20 cm (B), após o consócio de milho safrinha com diferentes forrageiras com supressão através do herbicida nicosulfuron. MS: Milho solteiro. MACS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com supressão através de nicosulfuron. MOCS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça com supressão. PICS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã com supressão. RUCS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses com supressão. XACS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés com supressão.

Desta forma, os dados obtidos e os grupos formados para as curvas de CSC estão condicionados pela situação prévia de compactação em que o solo se encontrava antes da introdução das forrageiras. Além disso, os agrupamentos realizados para esta variável (CSC) foram diferentes dos encontrados no dendograma de dissimilaridade (Figura 3 e 4) para as variáveis físicas tradicionais (DS, RP, PT, MI, MA, CC, PMP e CAD), onde o cultivo de milho solteiro teve baixa ou nenhuma similaridade com os consórcios; o que reforça a ideia anterior e demonstra a sua capacidade de diferenciação para os sistemas estudados neste trabalho.

Ainda, os resultados de CSC reforçam e comprovam os efeitos benéficos da *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses (Figura 5) e da *B. brizantha* cv. BRS Piatã (Figura 6), sem e com supressão através de herbicida, respectivamente, sobre a qualidade física do solo, quando comparado com o milho solteiro (MS). Esses consórcios reduziram a densidade do solo ou a resistência à penetração e diminuíram a compactação (Quadros 2 e 3), tornando o solo mais suscetível à compressão e melhorando a sua qualidade física (Figuras 5 e 6).

A utilização das forrageiras no sistema pode ter exercido esta influência positiva através da ação de seus sistemas radiculares ou do aporte de materiais orgânicos em maiores quantidades ao solo (BALBINOT JUNIOR et al., 2017; MECCHI, 2017). As gramíneas produzem sistema radicular volumoso e vigoroso, com grande capacidade de atravessar as camadas compactadas e diminuir a resistência à penetração, através da eficiente exploração do perfil do solo e, conseqüentemente, a formação de bioporos (GARCIA, 2010; VEZZANI & MIELNICZUK, 2011; LIMA et al., 2012; COELHO et al., 2013). Ademais, maiores conteúdos de carbono orgânico no solo estão relacionados com maiores elasticidades, refletindo em maior resiliência e recuperação da estrutura física (ARAÚJO-JUNIOR et al., 2011), o que também pode ser observado por meio de uma menor resistência mecânica avaliada pelos modelos de CSC.

O aumento dos resíduos vegetais através de uma maior cobertura do solo, assim como os efeitos benéficos das raízes para o sistema, torna o consórcio de milho com forrageiras uma prática indicada tanto para solos arenosos quanto argilosos. Primeiramente, em solos arenosos, a palhada das forrageiras pode contribuir fortemente para a retenção de umidade e, posteriormente, o aumento da matéria orgânica. Já para solos argilosos, além dos benefícios da palhada, a grande contribuição está relacionada com os efeitos das raízes para a reestruturação do solo, conforme os resultados obtidos neste trabalho.

CONCLUSÕES

A introdução de forrageiras no sistema de produção de milho safrinha, por meio do consórcio milho-forrageiras, proporciona melhorias à qualidade física do solo.

O consórcio com *Brachiaria ruziziensis* cv. Ruzizienses, a partir do manejo sem supressão, e com *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã com supressão, destacaram-se entre os demais no que se refere aos atributos físicos e à capacidade de suporte de carga de um Latossolo.

A utilização do manejo supressivo das forrageiras, durante duas safras de cultivo, não interfere sobre as variáveis físicas estudadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. E. M.; GOMES, C. M.; LAGO, B. C.; OLIVEIRA, S. M.; PIEROZAN JUNIOR, C.; FAVARIN, J. L. Corn yield, forage production and quality affected by methods of intercropping corn and *Panicum maximum*. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 52, n. 3, p. 170-176, 2017.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, GERD. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

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, n. 1, p. 115-131, 2011.

ARAÚJO-JUNIOR, C. F.; ROSA, F. R. T.; LAMMEL, P. C.; MARTINS, B. H. Agricultura conservacionista como alternativa para minimizar processos físicos de degradação do solo. In: KUHN, O. J.; NUNES, R. V.; STANGARLIN, J. R.; RAMPIN, L.; FEY, R.; COSTA, N. V.; COSTA, P. B.; GUIMARÃES, V. F.; ZAMBOM, M. A. **Ciências agrárias: tecnologias e perspectivas**. Marechal Cândido Rondon: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2015, p. 19-33.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; SANTOS, J. C. F.; DEBIASI, H.; YOKOYAMA, A. H. Contribution of roots and shoots of *Brachiaria* species to soybean performance in succession. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 52, n. 8, p. 592-598, 2017.

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, n. 2, 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, n. 1, p. 79-87, 2012.

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

BRADFORD, J. M. Penetrability. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analyses - physical and mineralogical methods**. 2 ed. Madson, ASA – SSSA, 1986. p. 463-478.

CECCON, G.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Modalidades e métodos de implantação do consórcio milho-braquiária. In: CECCON, G. **Consórcio Milho-Braquiária**. n.1. Brasília, DF: Embrapa, 2013, p.27-46.

CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Regime hídrico de alguns solos de Jaboticabal. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 701-709, 2000.

CLAESSEN, M. E. C.; BARRETO, W. O.; PAULA, J. L.; DUARTE, M.N. (Orgs). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. 212p.

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 consorciado com adubos verdes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 1576-1586, 2013.

CRUZ, S. C. S.; PEREIRA, F. R. S.; BICUDO, S. J.; SANTOS, J. R.; ALBUQUERQUE, A. W.; MACHADO, C. G. Consórcio de milho e *Brachiaria decumbens* em diferentes preparos de solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 633-639, 2009.

DARDENGO, M. C. J. D.; REIS, E. F.; PASSOS, R. R. Influência da capacidade de campo na taxa de crescimento do cafeeiro conilon. **Revista Ceres**, v. 57, n. 1, p. 042-047, 2010.

DIAS JUNIOR, M. S. **Compression of three soils under longterm tillage and wheel traffic**. 1994. 114p. Tese (Doutorado em Crop and Soil Science) - Michigan State University, 1994.

DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 20, n. 2, p. 175-182, 1996.

DIOGENES, L. C.; NOBREGA, J. C. A.; NOBREGA, R. S. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; SILVA, J. L.; MATIAS, S. S. R.; SANTOS, G. G. Resistência à penetração e atributos químicos em um Latossolo do Piauí sob monocultivos e consórcio de gramíneas irrigados. **Irriga**, Edição Especial, Grandes Culturas, p. 181-195, 2016.

DONAGEMMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. DE; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. **Manual de métodos de análise de solos**. 2ª ed. Revista. Rio de Janeiro, Embrapa solos, 212p. 2011.

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

GOMES, M. S. **Níveis de palhço, manejo e qualidade física de solo cultivado com cana**. 2017. 71p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, 2017.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do estado de Goiás. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 2615-2627, 2013.

GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Indicadores hídrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 1, p. 1-10, 2013.

HOLTZ, R.D., KOVACS, W.D. **An introduction to geotechnical engineering**. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 733p. 1981.

KAHLON, M. S.; CHAWLA, K. Effect of tillage practices on least limiting water range in Northwest India. **International Agrophysics**, v. 31, n. 1, p. 183-194, 2017.

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

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, n. 2, 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. 507p.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; COUTINHO, F. S.; ANJOS, L. H. C. Particulate organic matter in soil under different management systems in the Brazilian Cerrado. **Soil Research**, Melbourne, v.50, n.5, p.685-693, 2013.

MECHI, I. A. **Atributos químicos do solo, produtividade da soja e infestação de plantas daninhas em função de anos de milho consorciado com *Brachiaria***

ruzizensis. 2017. 52 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, 2017.

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, n. 2, p.403-415, 2011.

PELLIN, D. M. P. **Níveis de palhço e qualidade físico-hídrica de um latossolo vermelho cultivado com cana-de-açúcar**. 2017. 72p. Tese (Doutorado em Agronomia, Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, 2017.

PEREIRA, A. H. F.; VITORINO, A. C. T.; PRADO, E. A. F.; BERGAMIN, A. C.; MAUAD, M.; ARANTES, H. O. Least Limiting Water Range and Load Bearing Capacity of Soil under Types of Tractor-Trailers for Mechanical Harvesting of Green Sugarcane. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1603-1610, 2015.

PRADO, E. A. F. **Qualidade física promovida por manejos de solo e espécies na renovação do canavial**. 2015. 89p. Tese (Doutorado em Agronomia, Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, 2015.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILLO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 3, p. 321-344, 2005.

ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; RAMOS, M. L. G.; OLIVEIRA, A. S.; BARTHOLO, G. F. Qualidade físico-hídrica de um Latossolo sob irrigação e braquiária em lavoura de café no cerrado. **Coffee Science**, v. 9, n. 4, p. 516 - 526, 2014.

ROSA, D. M.; NOBREGA, L. H. P.; MAULI, M. M.; LIMA, G. P.; PACHECO, F. P. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 2, p. 221-230, 2017.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, n. 2, p. 70-79, 2014.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SANTOS, F. C.; KURIHARA, C. H.; RESENDE, A. V.; ALVARENGA, R. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. **Arranjo de plantas de braquiária em consórcio com a cultura do milho**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. 6p.

SANTOS, P. R. A. **Consórcio de milho com forrageiras: atributos físicos do solo e produtividade**. 2016. 84p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal do Ceará, 2016.

SEIDEL, E. P.; GERHARDT, I. F. S.; CASTAGNARA, D. D.; NERES, M. A. Efeito da época e sistema de semeadura da *Brachiaria brizantha* em consórcio com o milho, sobre os componentes de produção e propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 55-66, 2014.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, 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, n. 3, p. 414-423, 2010.

SILVA, D. V.; PEREIRA, G. A. M.; FREITAS, M. A. M.; SILVA, A. A.; SEDIYAMA, T.; SILVA, G. S.; FERREIRA, L. R.; CECON, P. R. Produtividade e teor de nutrientes do milho em consórcio com braquiária. **Ciência Rural**, v. 45, n. 8, p. 1-7, 2015.

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

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, n. 1, p. 213-223, 2011.

XAVIER, A. N. **Retardo no crescimento de plantas de *Urochloa ruziziensis* com herbicidas na cultura do milho**. 2017. 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Produção Vegetal) – Universidade Federal de Goiás, 2017.

CAPÍTULO II

INTERVALO HÍDRICO ÓTIMO DE UM LATOSSOLO SOB MANEJOS E CONSÓRCIOS DE MILHO COM FORRAGEIRAS

RESUMO

Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos do consórcio de milho safrinha com diferentes espécies de forrageiras, em diferentes manejos – com e sem supressão por herbicidas, sobre o intervalo hídrico ótimo de um Latossolo. O experimento foi realizado no município de Dourados, MS, entre os anos de 2014 e 2015. Foram realizados 11 tratamentos, sendo eles: milho solteiro; milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sem e com supressão através de herbicida; milho consorciado com *Panicum maximum* cv. Mombaça sem e com supressão através de herbicida; milho consorciado com *B. brizantha* cv. BRS Piatã sem e com supressão através de herbicida; milho consorciado com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses sem e com supressão através de herbicida; milho consorciado com *B. brizantha* cv. Xaraés sem e com supressão por herbicida. Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, as quais foram processadas em diferentes potenciais matriciais e submetidas a diferentes avaliações para a determinação do intervalo hídrico ótimo através de modelos matemáticos. Os diferentes consórcios de milho com forrageiras aumentaram o Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) do solo, com exceção para a utilização de *Panicum maximum* cv. Mombaça na profundidade de 0-10 e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu na profundidade de 10-20 cm, independente do manejo empregado. O manejo de supressão das forrageiras interferem negativamente no Intervalo Hídrico Ótimo do solo na profundidade de 0-10 cm. A *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés foi a forrageira que o efeito supressivo apresentou maior interferência em seus efeitos positivos para o conteúdo de água disponível para as plantas, independente da profundidade estudada. As forrageiras utilizadas no consórcio originaram diferenciados valores de densidade do solo crítica, a partir da variação entre os limites críticos de porosidade de aeração e resistência à penetração, utilizados na definição do IHO.

Palavras-chave: Qualidade físico-hídrica, compactação, conteúdo de água.

CHAPTER II

LEAST LIMITING WATER RANGE OF OXISOL UNDER MANAGEMENT AND INTERCROPPING OF CORN WITH FORAGE

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effects of the consortium of maize safrinha with different forage species, in different managements - with and without suppression with herbicides, on the least limiting water range of an Oxisol. The experiment was carried out in the municipality of Dourados, MS, between the years 2014 and 2015. Eleven treatments were performed: single corn; corn intercropped with *Brachiaria brizantha* cv. Marandu without and with suppression by herbicide; corn intercropped with *Panicum maximum* cv. Mombasa without and with suppression by herbicide; corn intercropped with *B. brizantha* cv. BRS Piatã without and with suppression by herbicide; corn intercropped with *B. ruziziensis* cv. Ruzizians without and with suppression by herbicide; corn intercropped with *B. brizantha* cv. Xaraés without and with suppression by herbicide. Soil samples were collected at depths of 0-10 and 10-20 cm, which were processed in different matrix potentials and submitted to different evaluations to determine the least limiting water range (LLWR) through mathematical models. The different consortia of maize with forages increase the LLWR of the soil, except for the use of *Panicum maximum* cv. Mombasa in the depth of 0-10 and *Brachiaria brizantha* cv. Marandu in depth of 10-20 cm, regardless of the handling employed. The management of forage suppression interferes negatively in the least limiting water range of the soil in depth of 0-10 cm. *The Brachiaria brizantha* cv. Xaraés was the forage that the suppressive effect presented greater interference in its positive effects to the water content available to the plants, regardless of the studied depth. The critical limits of aeration porosity and penetration resistance, used in the definition of LLWR, gave rise to different values of critical soil density from the different forages used in the consortium.

Keywords: Physical-hidric quality, compression, water content.

INTRODUÇÃO

A necessidade de atender a crescente demanda mundial de alimentos, fibras e energia, leva ao uso de tecnologias e sistemas de produção que garantam a produtividade agropecuária. Desta forma, a monocultura e o manejo intensivo do solo, assim como a utilização de fertilizantes, tornaram-se práticas corriqueiras para o aumento momentâneo da produção. Entretanto, deve-se salientar que a interferência do homem sobre um determinado ecossistema resulta na quebra do seu equilíbrio natural e práticas pontuais não resolvem as causas e, sim, apenas os efeitos dos problemas gerados. Desta forma, devemos buscar por alternativas que gerem condições favoráveis para o desenvolvimento físico, químico e biológico do solo e garantam a sustentabilidade agropecuária (BONO et al., 2013; SALTON et al., 2014).

Nos últimos anos, com o sucesso do plantio direto em sistemas agrícolas intensivos e sua associação com outras práticas de uso do solo, consolidaram-se também os sistemas consorciados de produção, que se baseiam na implantação de diferentes espécies em uma mesma área; o que pode auxiliar em manter o solo coberto em condições tropicais, onde naturalmente ocorre elevada taxa de decomposição orgânica (LOSS et al., 2013).

Assim, a utilização de forrageiras no cultivo de milho safrinha se tornou uma alternativa para o aumento do conteúdo de palha em cobertura (CECCON et al., 2013; KAHLON & CHAWLA, 2017), o que pode ser controlado a qualquer momento pelo manejo com herbicidas seletivos para a supressão das gramíneas desejadas (XAVIER, 2017). Além disso, a produção de cobertura vegetal continua mesmo após a colheita do milho e a consorciação resulta, ainda, em uma maior heterogeneidade de raízes e exsudatos no solo, o que também vem a influenciar positivamente na sustentabilidade do sistema (ROSA et al., 2017).

O intervalo hídrico ótimo (IHO) é utilizado como indicador da qualidade estrutural do solo, que é delimitado por conteúdos de água que podem interferir no crescimento das plantas; engloba informações sobre a quantidade de água, densidade do solo, resistência do solo à penetração, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e porosidade de aeração. A sua quantificação, tem como limite superior o conteúdo de água no solo como capacidade de campo (θ_{CC}) ou o teor de água em que a porosidade de aeração se encontra menor que 10 % (θ_{PA}), já o limite inferior é definido pelo teor de água do solo na condição de ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) ou teor de

água em que a resistência do solo à penetração seja igual a 2,0 MPa (θ_{RP}) (ROQUE et al., 2011; VISCHI FILHO et al., 2017).

A amplitude deste indicador alerta para o risco de exposição das culturas ao estresse físico e hídrico do solo e a magnitude em que a condição estrutural pode restringir o crescimento e desenvolvimento das plantas. Logo, é sensível às mudanças causadas pela introdução de uma outra espécie no sistema, o que permite a sua utilização como ferramenta na escolha por sistemas de produção sustentáveis, pois a capacidade produtiva deste recurso natural está relacionada com este indicador.

A introdução de outras espécies no sistema de produção de milho através do consórcio com forrageiras, entre elas *Brachiaria* spp. e *Panicum* spp., assim como os manejos empregados em suas conduções, podem interferir nos atributos físicos do solo e, conseqüentemente, no intervalo hídrico ótimo (IHO).

Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos do consórcio de milho safrinha com diferentes espécies de forrageiras, em diferentes manejos – com e sem supressão com herbicidas, sobre o intervalo hídrico ótimo de um Latossolo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em uma área pertencente à Fazenda Experimental da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), no município de Dourados, MS, entre os anos de 2014 e 2015. O local situa-se em latitude de 22° 23' 30" S, longitude de 54° 99' 78" W e altitude de 434 m.

O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Am (clima tropical monçônico), com temperatura média do mês mais frio do ano >18°C, estação invernal ausente, precipitação total anual média >1500 mm e precipitação do mês mais seco <60 mm (ALVARES et al., 2013). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (SANTOS et al., 2013), com teor de argila de 560 g kg⁻¹, areia 350 g kg⁻¹ e silte 90 g kg⁻¹, ou seja, de textura argilosa.

O estudo se constituiu da avaliação do intervalo hídrico ótimo do solo após o consórcio de milho safrinha com diferentes forrageiras, submetidas a distintos manejos - com ou sem supressão através de herbicida, comparativamente ao milho solteiro.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, constituídos por quatro repetições e 11 tratamentos: milho solteiro (MS); milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sem supressão com herbicida (MASS); milho consorciado com *Panicum maximum* cv. Mombaça sem supressão com herbicida (MOSS); milho consorciado com *B. brizantha* cv. BRS Piatã sem supressão com herbicida (PISS); milho consorciado com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses sem supressão com herbicida (RUSS); milho consorciado com *B. brizantha* cv. Xaraés sem supressão com herbicida (XASS); milho consorciado com *B. brizantha* cv. Marandu com supressão através de herbicida (MACS); milho consorciado com *P. maximum* cv. Mombaça com supressão através de herbicida (MOCS); milho consorciado com *B. brizantha* cv. BRS Piatã com supressão através de herbicida (PICS); milho consorciado com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses com supressão através de herbicida (RUCS); milho consorciado com *B. brizantha* cv. Xaraés com supressão através de herbicida (XACS) (Figura 1).

Cada parcela experimental contou com 15 m de largura e 20 m de comprimento, totalizando 300 m². A semeadura do milho e das forrageiras foi realizada na primeira quinzena do mês de março no ano de 2014 e na segunda quinzena de março no ano de 2015, após a colheita da soja durante a safra 2014/2015. Para a semeadura das forrageiras foi utilizada uma semeadoura-adubadora, modelo TD, de oito linhas

distanciadas entre si a 0,4 m, regulada para distribuir 20 sementes por metro e objetivando obter estande de 10 a 12 plântulas, não sendo utilizada adubação na semeadura. A semeadura do milho híbrido simples DKB 177 VT PRO foi realizada imediatamente à semeadura das forrageiras, utilizando uma semeadora adubadora pneumática com quatro linhas espaçadas entre si a 0,9 m, regulada para distribuir 6 sementes por metro e 250 kg ha⁻¹ de NPK na fórmula 08-20-20.

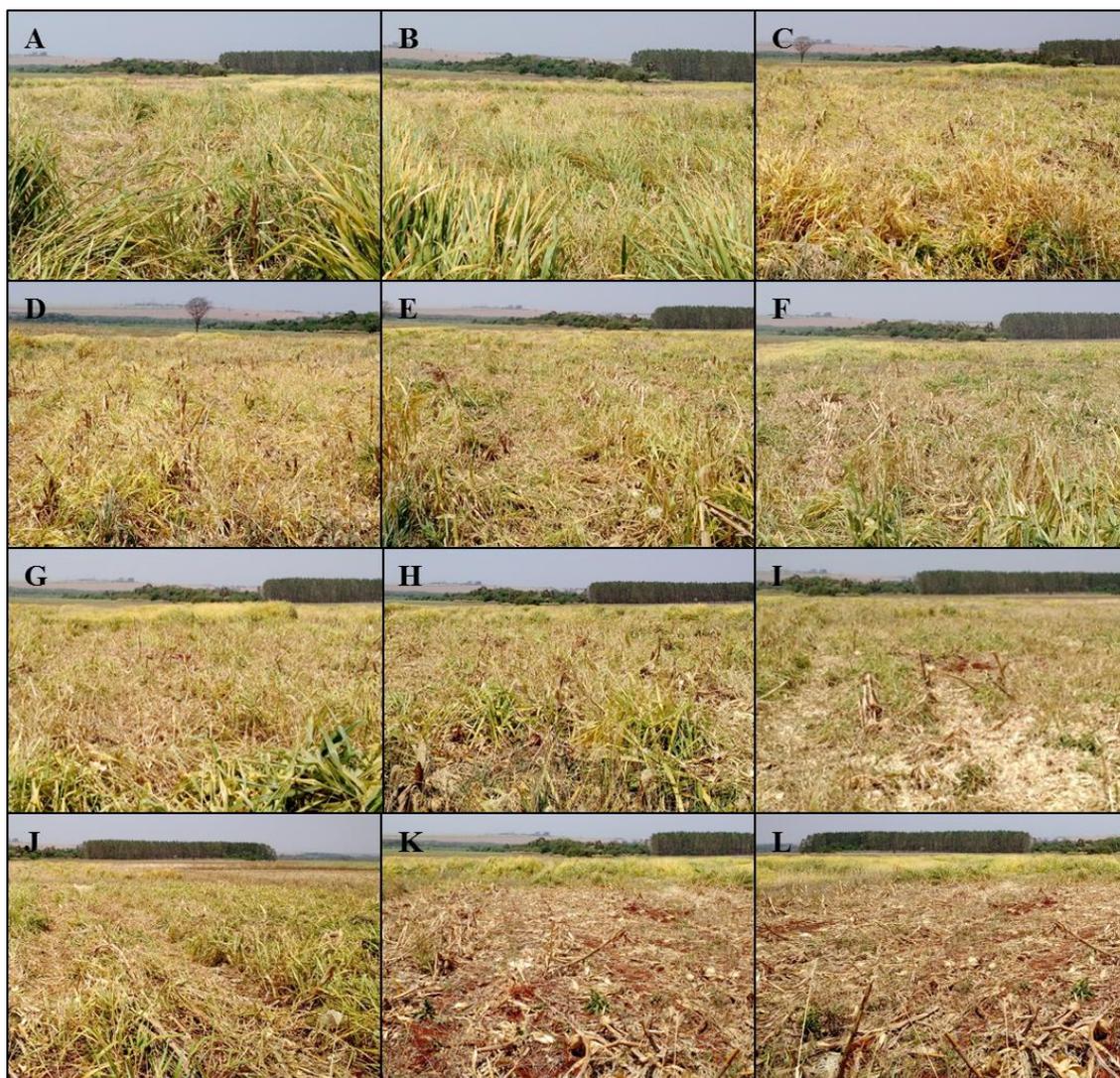


FIGURA 1. Restos culturais de milho consorciado com *Panicum maximum* cv. Mombaça com (A) e sem supressão (B) através de herbicida, *Brachiaria ruziziensis* cv. Ruzienseses com (C) e sem supressão (D) através de herbicida, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com (E) e sem supressão (F) através de herbicida, *B. brizantha* cv. Xaraés com (G) e sem supressão (H) através de herbicida, *B. brizantha* cv. BRS Piatã com (I) e sem supressão (J) através de herbicida, e milho solteiro (K e L).

Após a colheita do milho, em 2014, as forrageiras foram mantidas na área até o mês de setembro, sendo dessecadas utilizando 6 L ha⁻¹ do herbicida Glifosato. Após a dessecação, foi semeada no mês de outubro de 2014 a cultura da soja, variedade BMX Potência RR, utilizando-se uma semeadora pneumática de sete linhas, espaçadas entre si a 0,45 metros e regulada para distribuir 15 sementes por metro, com cerca de 300 kg ha⁻¹ de NPK na fórmula 00-20-20. Posteriormente, no ano de 2015, novamente as forrageiras e o milho foram semeados durante o período de safrinha, da mesma maneira como realizado no ano anterior. A supressão das forrageiras, nos tratamentos correspondentes, foi realizada por meio de pulverização com 6 g ha⁻¹ do princípio ativo nicosulfuron, aplicado quando as plântulas das forrageiras estavam no estágio de 3 a 4 perfilhos.

Em setembro de 2015, antes da semeadura da soja 2015/2016, amostras de solo foram coletadas com estrutura preservada, em cilindros metálicos de 83 cm³, raio de 3,22 cm e 2,55 cm de altura, nas entrelinhas da cultura do milho que já havia sido colhido, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, ou seja, centralizados nas profundidades de 0,05 m e 0,15 m. Foram coletadas 7 amostras em cada parcela e em cada profundidade, sendo 56 amostras por tratamento (28 amostras em cada profundidade). Totalizando 616 amostras que foram levadas ao laboratório para análises.

As 28 amostras de cada tratamento (de cada profundidade) foram divididas em 7 grupos de 4 amostras, sendo cada grupo submetido 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, submetidos à potenciais matriciais utilizando mesa de tensão para -0,006 MPa e câmara de Richards aos seguintes potenciais: -0,01; -0,033; -0,066; -0,1; -0,3 e -1,5 MPa, conforme Klute (1986).

Quando as amostras atingiram o equilíbrio nas referidas tensões, foi determinada a resistência do solo à penetração, utilizando um penetrômetro eletrônico de bancada com velocidade constante de penetração de 1 cm min⁻¹, com diâmetro de base de 4 mm e semiângulo de 30°, com a haste sendo introduzida no centro geométrico de cada amostra. As leituras obtidas nos 5 mm superiores e inferiores da amostra foram descartadas, visando eliminar o efeito da periferia, conforme proposto por Bradford (1986). A frequência de leituras de resistência à penetração correspondeu à coleta de um valor a cada 0,25 segundos, obtendo-se um total de 800 leituras por amostra, das quais um valor médio foi utilizado.

O intervalo hídrico ótimo (IHO) foi determinado com base nos procedimentos descritos em Silva et al. (1994). Os valores críticos de umidade associados com o potencial matricial associado à resistência do solo à penetração e à porosidade de aeração, respectivamente, pelo teor de água na capacidade de campo (θ_{CC}), no potencial de -0,006 MPa (REICHARDT, 1988); ponto de murcha permanente (θ_{PMP}) no potencial de -1,5 MPa (SAVAGE et al., 1996); umidade volumétrica em que a resistência do solo à penetração (θ_{RP}) atinge 2,0 MPa (TAYLOR et al., 1966) e o umidade volumétrica em que a porosidade de aeração (θ_{PA}) é de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (GRABLE & SIEMER, 1968).

Os valores de θ_{CC} e θ_{PMP} foram obtidos por meio do modelo matemático do tipo $[\theta = \exp(a+bDs)\Psi^c]$, proposto por Silva et al. (1994), para ajuste dos dados originais, em que utiliza a variável de 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 parâmetros empíricos de ajuste do modelo utilizado.

Os valores de RP foram ajustados matematicamente, de acordo com o modelo $[RP = d\theta^e Ds^f]$ em que utilizou os valores de θ e Ds conhecidas, 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. Através 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 , desta forma na equação a RP foi substituída pelo valor de 2,0 MPa, considerado como limitante ao desenvolvimento radicular, para efeito de cálculo do IHO.

Os valores de θ_{PA} foram obtidos de acordo com o modelo $[\theta_{PA} = (1 - (Ds/Dp)) - 0,10]$, 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 aplicado o valor de $2,65 \text{ Mg m}^{-3}$ como média da densidade de partículas.

Com relação aos limites superiores do IHO, considerou-se o θ_{CC} , ou aquele em que a θ_{PA} é considerada limitante ao crescimento e desenvolvimento vegetal. Na determinação dos limites inferiores foram considerados o θ_{PMP} ou a θ_{RP} que seja limitante ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das culturas. Após a determinação dos limites do IHO foi estabelecida a densidade crítica do solo (D_{sc}), que

é a densidade do solo em que o IHO se iguala à zero, pois o limite superior equivale numericamente ao limite inferior (SILVA et al., 1994).

Os ajustes dos modelos matemáticos e dos parâmetros “a”, “b”, “c”, “d”, “e” e “f”, foram realizados pelo método de regressão não linear. As curvas de retenção de água ajustadas 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

Os valores dos coeficientes de determinação (R^2) de retenção de água, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm (Quadro 1 e 2), apresentaram valores de F significativos a 1%. Os intervalos de confiança dos coeficientes ajustados foram significativos em todos os tratamentos, exceto para o parâmetro “b” nos tratamentos PISS e MOCS na profundidade de 10-20 cm (Quadro 2); pois, conforme Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012), o intervalo de confiança dos coeficientes não inclui o valor igual a zero entre os limites inferiores e superiores.

A curva de retenção de água no solo [$\theta = \exp(a+bD_s)\Psi^c$], da mesma forma como observado por Calonego e Rosolem (2011), Betioli Júnior et al. (2012), Miola et al. (2015) e Vischi Filho et al. (2016), está correlacionada positivamente com a densidade do solo (D_s) e negativamente com o potencial de água no solo (Ψ) (Quadros 1 e 2). Esse comportamento deve-se à distribuição da porosidade, pois com o aumento de poros de menor diâmetro, o solo torna-se mais eficiente na retenção de água em elevados potenciais (CHEN et al, 2015).

Já na determinação dos coeficientes da curva de resistência a penetração, os valores de R^2 foram altamente significativos ($p < 0,01$), segundo Blainski et al. (2009) e Blainski et al. (2012) (Quadros 3 e 4). No entanto, quanto aos valores do intervalo de confiança, houve uma variação entre alguns parâmetros, pois o coeficiente “d”, na profundidade de 0-10 cm (Quadro 3), foi significativo nos tratamentos PISS, RUSS, MOCS e MS, enquanto na profundidade de 10-20 cm (Quadro 4) em MASS, RUSS, MACS, MOCS e PICS.

Para os coeficientes “e” e “f”, em ambas profundidades (Quadro 3 e 4), não nota-se o valor igual a zero entre os limites inferiores e superiores, o que indica que o intervalo de confiança apresentou-se estatisticamente significativo ($p < 0,01$) para todos tratamentos, exceto no coeficiente “f” para MASS, MOCS e MS na profundidade de 10-20 cm (Quadro 4).

Observa-se, ainda, que a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta^e D_s^f$) foi positivamente correlacionada com a densidade do solo (D_s) e negativamente correlacionada com teor de água no solo (θ) (Quadros 3 e 4), o que corrobora com o encontrado por Bergamin (2012), Lima et al. (2012), Guedes Filho et al. (2013), Dias et al. (2016) e outros autores.

QUADRO 1. 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 0-10 cm de um Latossolo Vermelho Distroférico, submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consórcio com forrageiras e manejos de supressão com herbicidas.

Coeficientes	Valor Estimado	Intervalo de confiança		Valor Estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
.....MASS.....				.....MOSS.....		
a	-2,62407	-3,39764	-1,85050	-2,31967	-2,49140	-2,14793
b	0,82555	0,33055	1,32054	0,68227	0,57539	0,78914
c	-0,06210	-0,08133	-0,04288	-0,02968	-0,03597	-0,02339
R^2	0,69**			0,93**		
.....PISS.....				.....RUSS.....		
a	-2,11992	-2,48198	-1,75787	-3,36160	-4,92491	-1,79828
b	0,38740	0,15486	0,61994	1,32093	0,31379	2,32807
c	-0,10122	-0,11695	-0,08549	-0,12976	-0,17744	-0,08208
R^2	0,90**			0,59**		
.....XASS.....				.....MS.....		
a	-2,16509	-2,70212	-1,62807	-2,27762	-2,79778	-1,75745
b	0,62529	0,28400	0,96657	0,53332	0,20165	0,86499
c	-0,04039	-0,05304	-0,02774	-0,07723	-0,09195	-0,06251
R^2	0,68**			0,85**		
.....MACS.....				.....MOCS.....		
a	-2,28876	-2,72873	-1,84880	-2,24842	-2,42240	-2,07445
b	0,65492	0,37800	0,93185	0,69509	0,58380	0,80638
c	-0,05712	-0,06716	-0,04707	-0,03255	-0,03684	-0,02826
R^2	0,87**			0,93**		
.....PICS.....				.....RUCS.....		
a	-2,09157	-2,25731	-1,92584	-2,63978	-3,35394	-1,92562
b	0,53252	0,41881	0,64623	0,82747	0,37167	1,28328
c	-0,04544	-0,05205	-0,03884	-0,06601	-0,08489	-0,04713
R^2	0,95**			0,77**		
.....XACS.....				.....MS.....		
a	-2,31385	-2,55350	-2,07419	-2,27762	-2,79778	-1,75745
b	0,72003	0,56354	0,87652	0,53332	0,20165	0,86499
c	-0,01843	-0,02211	-0,01475	-0,07723	-0,09195	-0,06251
R^2	0,96**			0,85**		

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%. MASS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sem supressão com herbicidas. MOSS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça sem supressão. PISS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã sem supressão. RUSS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses sem supressão. XASS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés sem supressão. MS: Milho solteiro. MACS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com supressão através de nicosulfuron. MOCS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça com supressão. PICS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã com supressão. RUCS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses com supressão. XACS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés com supressão. MS: Milho solteiro.

QUADRO 2. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de retenção de água no solo [$\theta = \exp(a+bDs)\Psi^c$], com coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 10-20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico, submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consórcio com diferentes forrageiras e manejos de supressão com herbicidas.

Coeficientes	Valor Estimado	Intervalo de confiança		Valor Estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
.....MASS.....				.....MOSS.....		
a	-2,27504	-2,40941	-2,14067	-2,02978	-2,52176	-1,53780
b	0,70842	0,62143	0,79540	0,38772	0,07232	0,70311
c	-0,01747	-0,01983	-0,01510	-0,08522	-0,09946	-0,07098
R^2	0,98**			0,89**		
.....PISS.....				.....RUSS.....		
a	-2,15862	-2,90706	-1,41018	-2,07937	-2,26534	-1,89339
b	0,46262	-0,01303	0,93826	0,56603	0,44641	0,68566
c	-0,08516	-0,10966	-0,06066	-0,03601	-0,04000	-0,03201
R^2	0,73**			0,95**		
.....XASS.....				.....MS.....		
a	-1,94000	-2,23762	-1,64238	-2,36390	-2,89620	-1,83160
b	0,38718	0,19546	0,57890	0,58522	0,23727	0,93318
c	-0,05780	-0,06357	-0,05202	-0,08161	-0,09648	-0,06674
R^2	0,95**			0,89**		
.....MACS.....				.....MOCS.....		
a	-2,17998	-2,36239	-1,99756	-1,81920	-2,40000	-1,23841
b	0,63294	0,51589	0,75000	0,25804	-0,11515	0,63123
c	-0,03118	-0,03611	-0,02624	-0,09172	-0,11019	-0,07324
R^2	0,93**			0,85**		
.....PICS.....				.....RUCS.....		
a	-2,46813	-2,73322	-2,20303	-2,04704	-2,19554	-1,89854
b	0,78735	0,60941	0,96528	0,47911	0,38125	0,57698
c	-0,03787	-0,04364	-0,03210	-0,06208	-0,06569	-0,05847
R^2	0,94**			0,98**		
.....XACS.....				.....MS.....		
a	-2,24015	-2,37065	-2,10966	-2,36390	-2,89620	-1,83160
b	0,67018	0,58644	0,75393	0,58522	0,23727	0,93318
c	-0,03406	-0,03673	-0,03140	-0,08161	-0,09648	-0,06674
R^2	0,97**			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%. MASS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sem supressão com herbicidas. MOSS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça sem supressão. PISS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã sem supressão. RUSS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses sem supressão. XASS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés sem supressão. MS: Milho solteiro. MACS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com supressão através de nicosulfuron. MOCS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça com supressão. PICS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã com supressão. RUCS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses com supressão. XACS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés com supressão. MS: Milho solteiro.

QUADRO 3. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta^e Ds^f$), com coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0-10 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico, submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consórcio com diferentes forrageiras e manejos de supressão com herbicidas.

Coeficientes	Valor Estimado	Intervalo de confiança		Valor Estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
.....MASS.....				.....MOSS.....		
d	0,10041	-0,03914	0,239961	0,00088	-0,00002	0,00179
e	-1,17010	-1,70050	-0,639688	-4,35977	-4,89336	-3,82618
f	3,44815	0,79588	6,100424	5,46255	4,44566	6,47944
R^2	0,49**			0,91**		
.....PISS.....				.....RUSS.....		
d	0,13792	0,07243	0,20341	0,00014	0,00001	0,00032
e	-1,35709	-1,56186	-1,15231	-8,78369	-11,7982	-5,76914
f	1,94067	1,25993	2,62140	10,14013	6,9911	13,28914
R^2	0,89**			0,82**		
.....XASS.....				.....MS.....		
d	0,00187	-0,00009	0,00384	0,02365	0,00083	0,04648
e	-3,85555	-4,51183	-3,19927	-2,36275	-2,65865	-2,06684
f	5,41371	4,41193	6,41549	3,23124	1,54451	4,91797
R^2	0,91**			0,91**		
.....MACS.....				.....MOCS.....		
d	0,00436	-0,00194	0,01066	0,00001	0,00001	0,00001
e	-3,24734	-4,02919	-2,46548	-7,45520	-8,58064	-6,32975
f	5,33940	3,64010	7,03870	9,05091	7,88415	10,21768
R^2	0,83**			0,93**		
.....PICS.....				.....RUCS.....		
d	0,00186	-0,00343	0,00715	0,04811	-0,03612	0,132346
e	-4,16394	-5,79105	-2,53682	-1,35110	-1,84098	-0,861209
f	3,70171	1,01342	6,39000	4,42871	1,52992	7,327491
R^2	0,60**			0,57**		
.....XACS.....				.....MS.....		
d	0,00055	-0,00001	0,00112	0,02365	0,00083	0,04648
e	-4,86391	-5,34536	-4,38245	-2,36275	-2,65865	-2,06684
f	5,66916	4,62808	6,71024	3,23124	1,54451	4,91797
R^2	0,96**			0,91**		

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%. MASS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sem supressão com herbicidas. MOSS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça sem supressão. PISS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã sem supressão. RUSS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses sem supressão. XASS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés sem supressão. MS: Milho solteiro. MACS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com supressão através de nicosulfuron. MOCS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça com supressão. PICS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã com supressão. RUCS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses com supressão. XACS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés com supressão. MS: Milho solteiro.

QUADRO 4. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de resistência do solo à penetração ($RP = d\theta^e Ds^f$), com coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 10-20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico, submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consórcio com diferentes forrageiras e manejos de supressão com herbicidas.

Coeficientes	Valor Estimado	Intervalo de confiança		Valor Estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
.....MASS.....				.....MOSS.....		
d	0,696038	0,33441	1,057663	0,03319	-0,00221	0,06860
e	-0,70685	-1,00009	-0,413627	-2,06617	-2,42230	-1,71004
f	0,757393	0,19033	1,324462	3,03397	1,31917	4,74876
R^2	0,75**			0,86**		
.....PISS.....				.....RUSS.....		
d	0,17875	-0,09647	0,453972	0,00161	0,00060	0,00263
e	-1,23753	-1,62928	-0,845773	-4,19137	-4,56226	-3,82047
f	1,67198	-1,50556	4,849520	5,37724	4,71350	6,04097
R^2	0,61**			0,96**		
.....XASS.....				.....MS.....		
d	0,00062	-0,00008	0,00132	0,24645	-0,05397	0,546869
e	-4,54468	-5,00262	-4,08674	-1,18797	-1,56907	-0,806870
f	5,67544	4,00910	7,34177	1,66505	-0,45836	3,788463
R^2	0,94**			0,62**		
.....MACS.....				.....MOCS.....		
d	0,00108	0,00053	0,00163	0,471962	0,00683	0,937098
e	-4,57398	-4,84535	-4,30260	-0,80836	-1,08709	-0,529634
f	5,52057	4,94648	6,09467	0,694565	-1,10574	2,494872
R^2	0,98**			0,58**		
.....PICS.....				.....RUCS.....		
d	0,00642	0,00098	0,01186	0,00072	-0,00045	0,00190
e	-3,21487	-3,62599	-2,80374	-3,79116	-4,43400	-3,14831
f	4,08952	3,06908	5,10996	7,40361	4,94183	9,86540
R^2	0,93**			0,89**		
.....XACS.....				.....MS.....		
d	0,00001	-0,00001	0,00003	0,24645	-0,05397	0,546869
e	-7,32294	-8,15200	-6,49389	-1,18797	-1,56907	-0,806870
f	8,80996	6,76535	10,85457	1,66505	-0,45836	3,788463
R^2	0,95**			0,62**		

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%. MASS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu sem supressão com herbicidas. MOSS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça sem supressão. PISS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã sem supressão. RUSS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses sem supressão. XASS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés sem supressão. MS: Milho solteiro. MACS: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu com supressão através de nicosulfuron. MOCS: Milho com *Panicum maximum* cv. Mombaça com supressão. PICS: Milho com *B. brizantha* cv. BRS Piatã com supressão. RUCS: Milho com *B. ruziziensis* cv. Ruzizienses com supressão. XACS: Milho com *B. brizantha* cv. Xaraés com supressão. MS: Milho solteiro.

A correlação entre a resistência à penetração (RP) e a densidade do solo (Ds) está atribuída à compactação, um solo com maior valor de densidade do solo apresenta maior massa de sólidos por unidade de volume e, conseqüentemente, menores espaços porosos, o que aumenta a coesão entre as partículas e dificulta a penetração de raízes. Por outro lado, o aumento do teor de água no solo diminui a coesão e reduz a RP através do efeito lubrificante da água.

QUADRO 5. Estimativas dos coeficientes de regressão para a curva de retenção de água no solo [$\theta = \exp(a+bDs)\Psi^c$] e resistência do solo à penetração ($RP = d\theta^eDs^f$), com coeficientes de determinação (R^2), na profundidade de 0-10 e 10-20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico, submetido a distintos sistemas de produção de milho consorciado com forrageiras*, sem e com a supressão com o herbicida nicosulfuron.

Coeficientes	Valor Estimado	Intervalo de confiança		Valor Estimado	Intervalo de confiança	
		Li	Ls		Li	Ls
----- 0-10 cm -----						
	.....Sem supressão.....			.....Com supressão.....		
a	-2,04453	-2,52439	-1,56468	-2,15063	-2,35367	-1,94760
b	0,46927	0,16381	0,77473	0,58074	0,44919	0,71229
c	-0,06988	-0,08655	-0,05322	-0,04390	-0,04968	-0,03811
R^2	0,57**			0,72**		
----- 10-20 cm -----						
	.....Sem supressão.....			.....Com supressão.....		
a	-1,92440	-2,23640	-1,61239	-2,12854	-2,33286	-1,92423
b	0,39216	0,19171	0,59261	0,54988	0,41705	0,68272
c	-0,05696	-0,06464	-0,04928	-0,05106	-0,05670	-0,04543
R^2	0,66**			0,77**		
----- 0-10 cm -----						
	.....Sem supressão.....			.....Com supressão.....		
d	0,08940	0,04608	0,13272	0,04222	0,00988	0,07457
e	-1,49534	-1,71246	-1,27821	-1,64115	-1,96067	-1,32163
f	2,63188	1,86486	3,39890	4,06838	2,89018	5,24657
R^2	0,58**			0,53**		
----- 10-20 cm -----						
	.....Sem supressão.....			.....Com supressão.....		
d	0,23897	0,07772	0,40021	0,16059	0,02469	0,296482
e	-1,32519	-1,54185	-1,10852	-1,24348	-1,59349	-0,893460
f	1,05656	-0,27291	2,38603	2,18674	0,70107	3,672404
R^2	0,55**			0,56**		

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%. *: Média de milho consorciado com todas as forrageiras.

Já no que se refere à comparação entre os tratamentos com e sem supressão por herbicidas, os valores dos coeficientes de determinação (R^2) de retenção de água, em ambas profundidades, também apresentaram valores de F significativos a 1% (Quadro 5). Os intervalos de confiança dos coeficientes ajustados foram significativos em todos os tratamentos, exceto para o parâmetro “I” no tratamento “sem supressão” e na profundidade de 10-20 cm (Quadro 5).

Nas Figuras 2, 3, 5 e 6, estão apresentadas as variações das tensões matriciais, entre os limites críticos correspondentes à capacidade de campo (CC) (0,006 MPa), ao ponto de murcha permanente (PMP) (1,5 MPa), à porosidade de aeração (PA) de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e à umidade em que a resistência do solo à penetração (RP) é de 2,0 MPa, para cada valor de densidade do solo nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm.

Os atributos capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e resistência à penetração (RP) aumentaram e, a porosidade de aeração (PA), diminuiu, conforme houve aumento na densidade do solo em todos tratamentos avaliados neste estudo (Figuras 2, 3, 5 e 6), o que está de acordo com os resultados de diversos autores (ARAÚJO et al., 2013; ARANTES, 2015; GARBIATE et al., 2016). Segundo Gomes (2017), esses resultados demonstram uma importante participação desses atributos como reguladores da qualidade do pedoambiente estudado.

Inicialmente, observa-se que houve um aumento no intervalo hídrico ótimo (IHO) em todos tratamentos que receberam a introdução da forrageira através do consórcio no sistema de produção, quando comparado com o milho solteiro (Figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7); exceto para Mombaça sem supressão (Figura 2B) e Mombaça e Xaraés com supressão (Figuras 3B e 3E) na profundidade de 0-10 cm (Figuras 2, 3 e 4), e para Marandu sem supressão (Figura 5A) e Marandu e Xaraés com supressão (Figuras 6A e 6E) na profundidade de 10-20 cm (Figuras 5, 6 e 7).

Segundo Crusciol et al. (2009), espécies de *Brachiaria* spp. e *Panicum* spp. apresentam crescimento vigoroso e ampla rusticidade, com a capacidade de se desenvolverem em ocasiões em que a maioria das culturas produtoras de grãos não apresentariam desempenho satisfatório. Assim, a utilização dessas forrageiras como alternativas viáveis para aumento do IHO apresenta-se como uma boa opção para o sistema de produção de milho. Além disso, essa variação do conteúdo de água no solo está altamente correlacionada com o crescimento das plantas e, conseqüentemente, suas respectivas produtividades; desta forma, os maiores rendimentos das culturas se concentram nas regiões de maior IHO (SILVA & KAY, 1996; ARAÚJO et al., 2013).

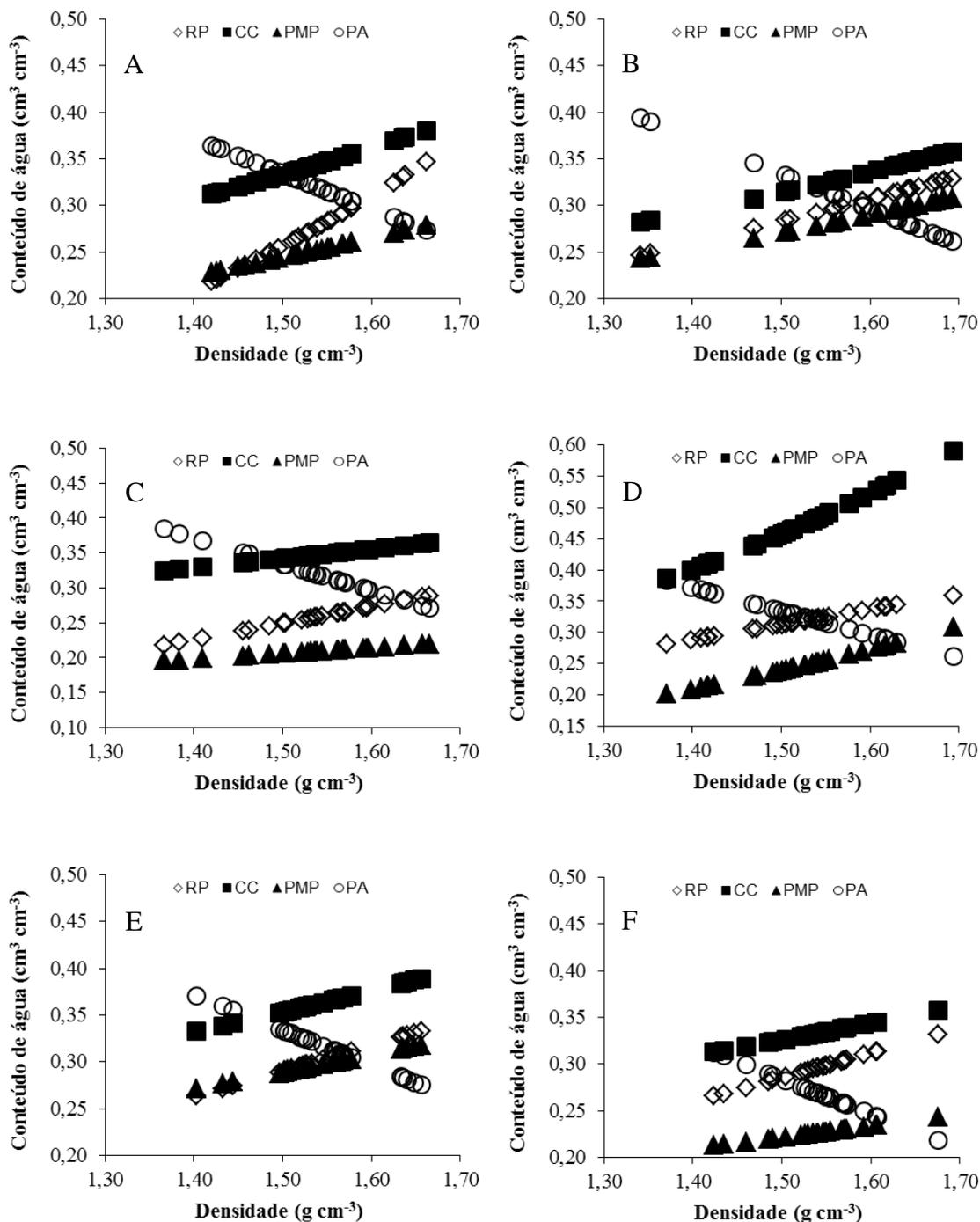


FIGURA 2. Variação do conteúdo de água na capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (θ_{PA}) e resistência do solo à penetração de $2,0 \text{ MPa}$ (θ_{RP}), em função da densidade de um Latossolo Vermelho Distroférico, na profundidade de 0-10 cm, submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consórcio com diferentes forrageiras sem a supressão com herbicidas. A: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. B: Milho consorciado com *Panicum maximum* cv. Mombaça. C: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã. D: Milho consorciado com *Brachiaria ruziziensis* cv. Ruzizienses. E: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés. F: Milho solteiro.

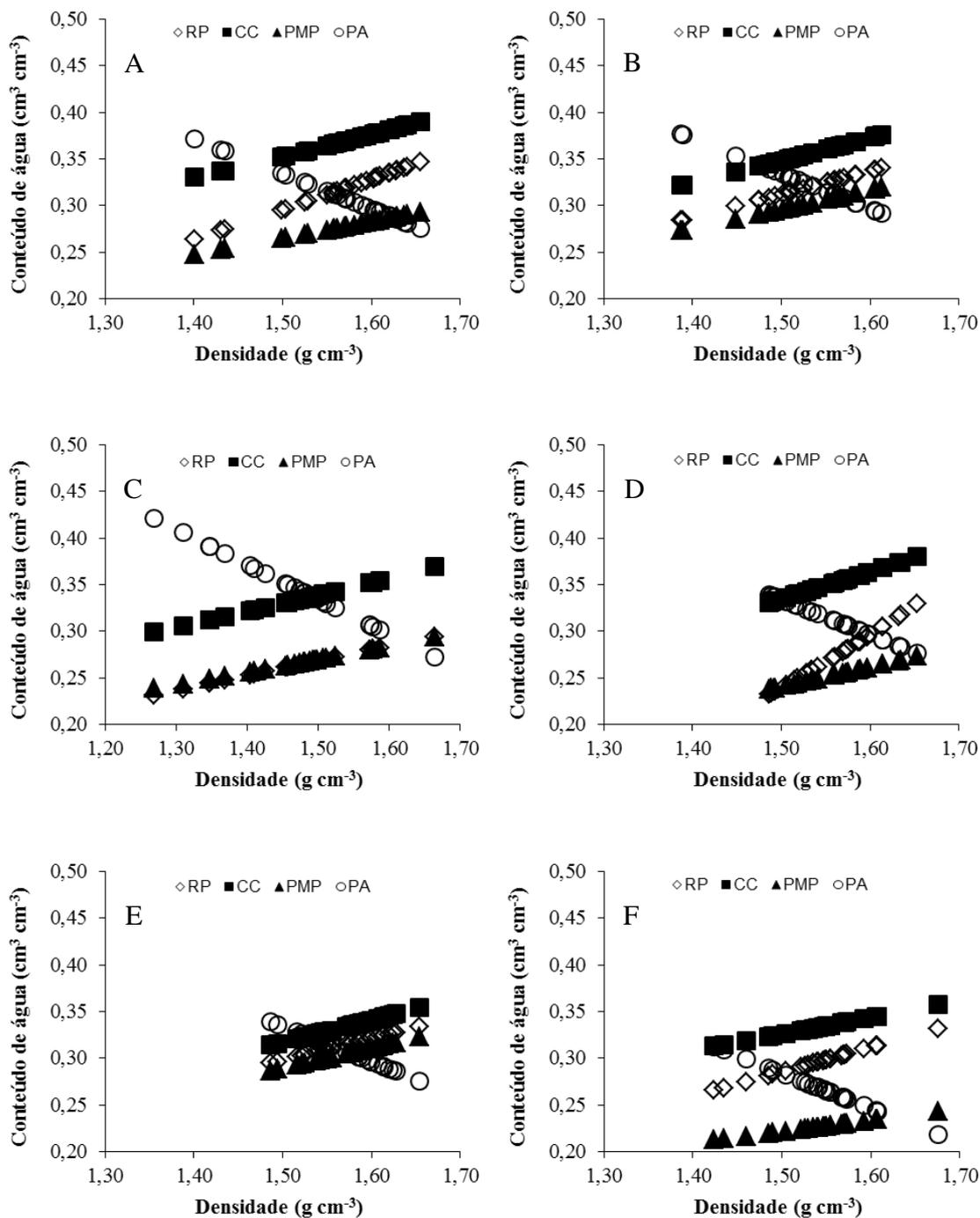


FIGURA 3. Variação do conteúdo de água na capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (θ_{PA}) e resistência do solo à penetração de $2,0 \text{ MPa}$ (θ_{RP}), em função da densidade de um Latossolo Vermelho Distroférico, na profundidade de 0-10 cm, submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consórcio com diferentes forrageiras suprimidas com herbicida nicosulfuron. A: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. B: Milho consorciado com *Panicum maximum* cv. Mombaça. C: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã. D: Milho consorciado com *Brachiaria ruziziensis* cv. Ruzizienses. E: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés. F: Milho solteiro.

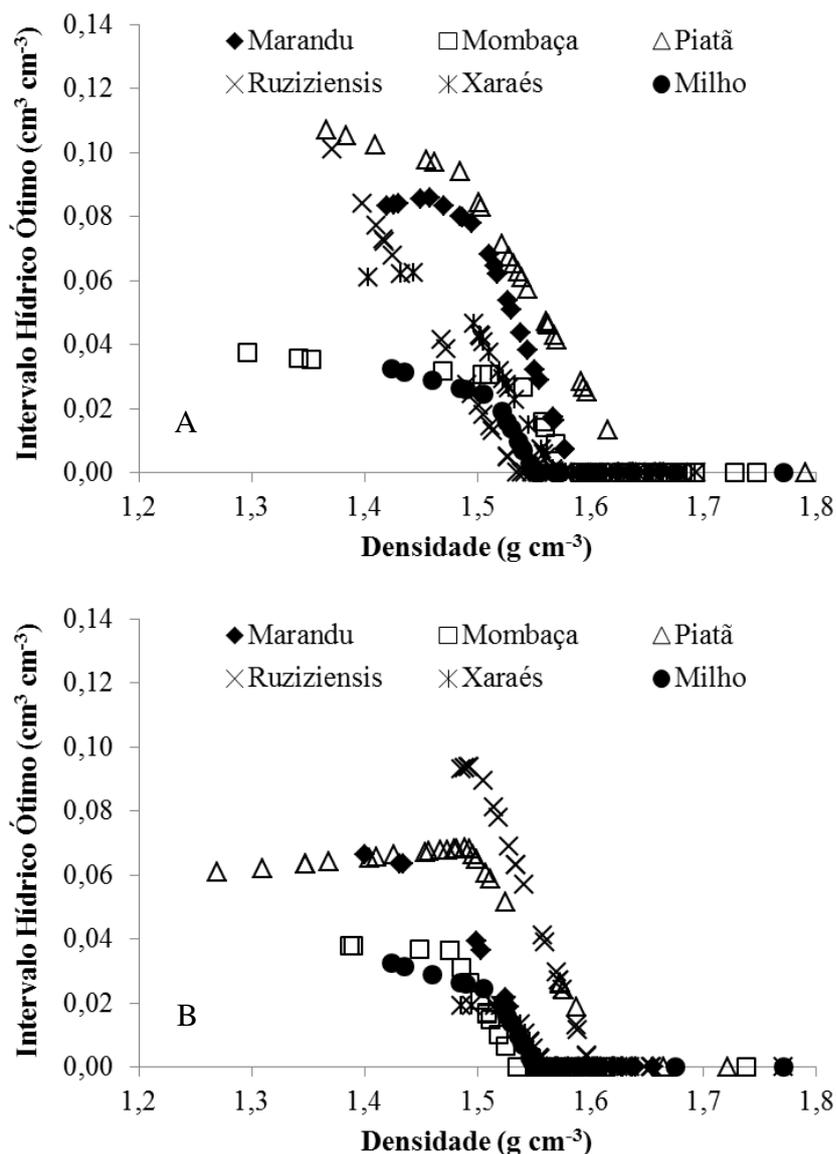


FIGURA 4. Variação do Intervalo Hídrico Ótimo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em função da densidade de um Latossolo Vermelho Distroférico, na profundidade de 0-10 cm, submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consórcio com diferentes forrageiras sem (A) ou com (B) supressão através do herbicida nicosulfuron.

Diante do exposto, outros estudos corroboram com os resultados obtidos neste trabalho, pois relatam inúmeros efeitos benéficos das forrageiras, tanto espécies de *Brachiaria* spp. quanto de *Panicum* spp., para a qualidade físico-hídrica do solo (ROCHA et al., 2014; SEIDEL et al., 2014; DIOGENES et al., 2016; SANTOS, 2016). Segundo Balbinot Jr. et al. (2017), as raízes das forrageiras em sistema de consórcio com milho são as maiores responsáveis por garantirem mais produtividade para a soja em sucessão, o que deve estar relacionado com as melhorias ao IHO obtidas neste estudo (Figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7).

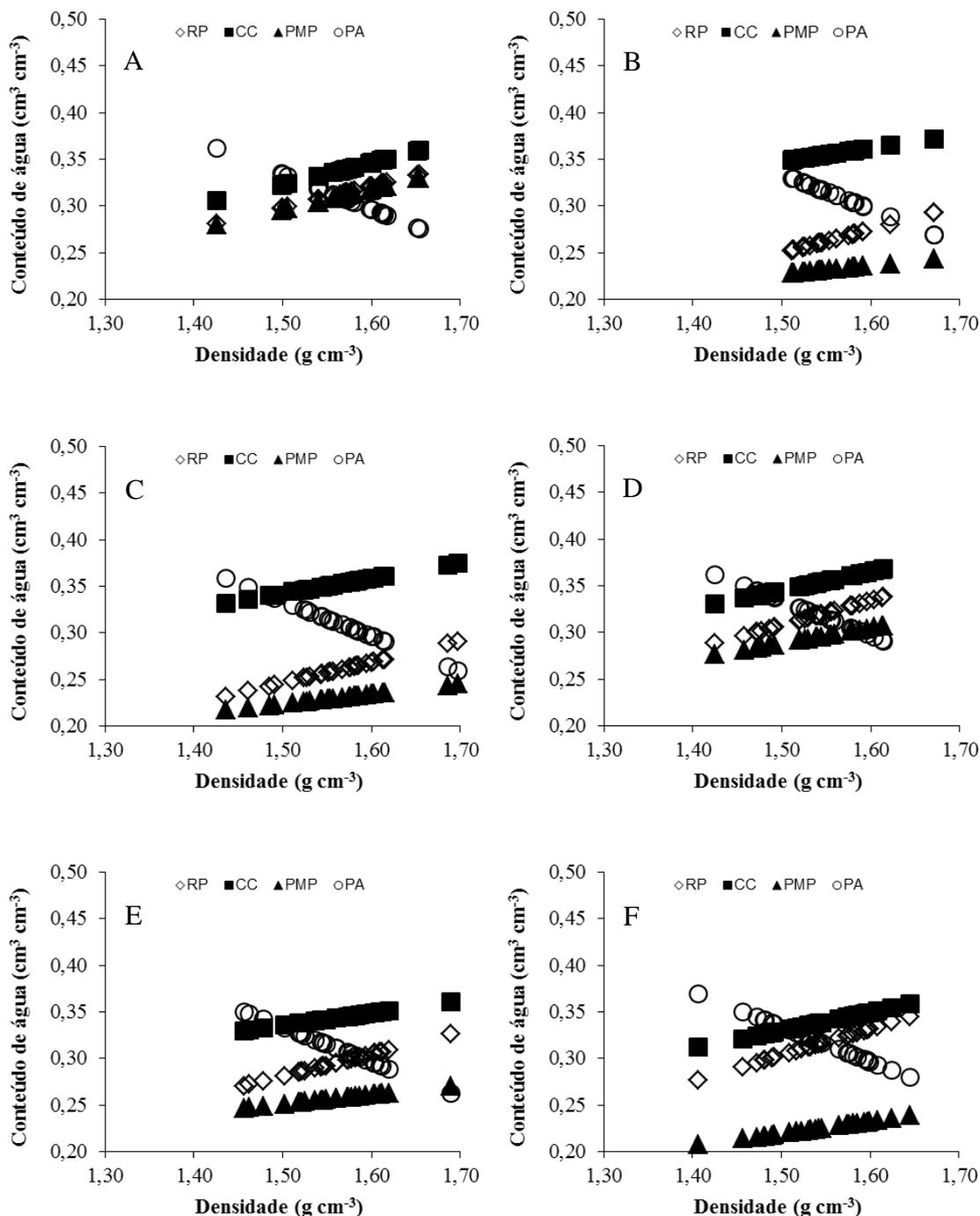


FIGURA 5. Variação do conteúdo de água na capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (θ_{PA}) e resistência do solo à penetração de $2,0 \text{ MPa}$ (θ_{RP}), em função da densidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico, na profundidade de 10-20 cm, submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consórcio com diferentes forrageiras sem a supressão com herbicidas. A: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. B: Milho consorciado com *Panicum maximum* cv. Mombaça. C: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã. D: Milho consorciado com *Brachiaria ruziziensis* cv. Ruzizienses. E: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés. F: Milho solteiro.

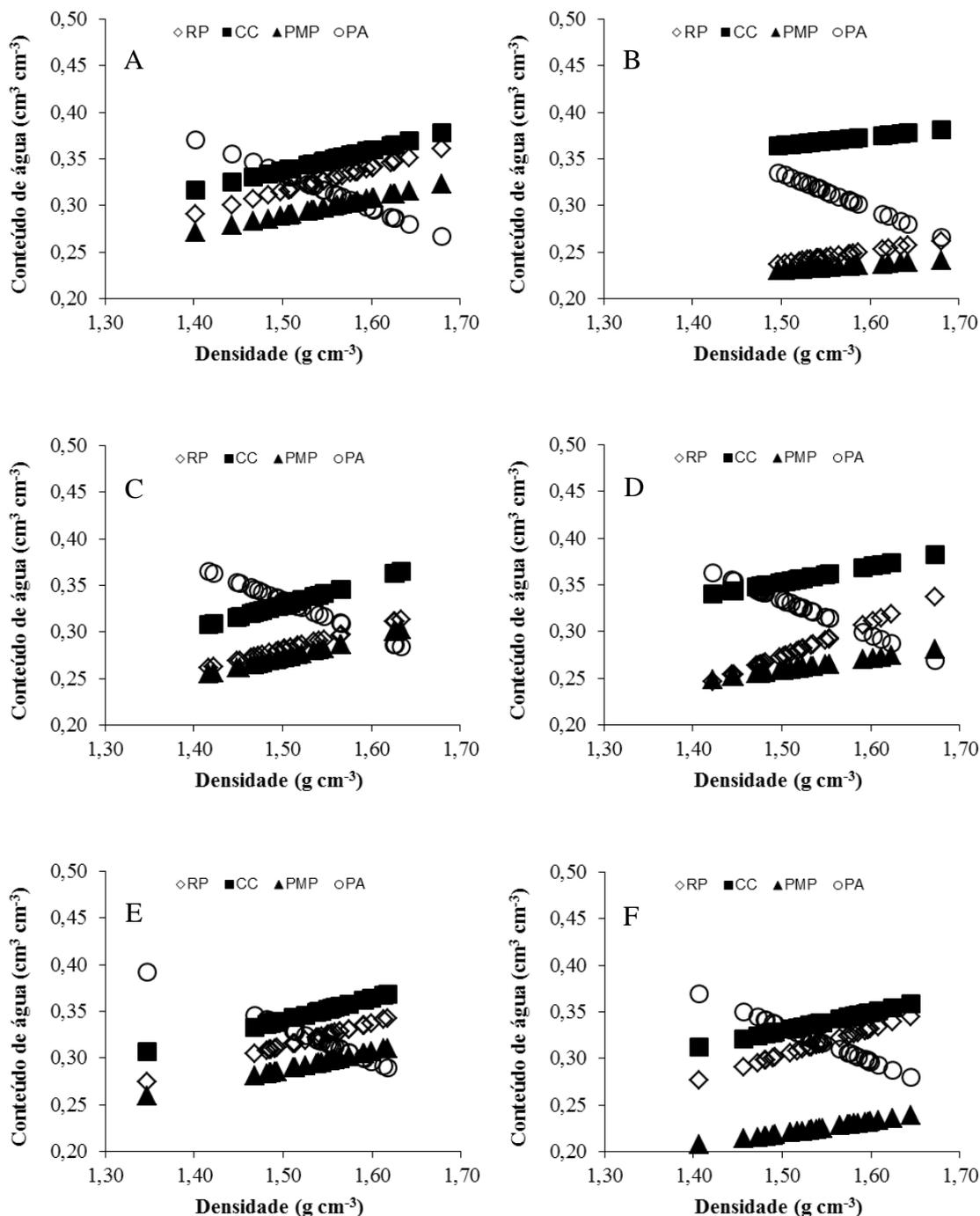


FIGURA 6. Variação do conteúdo de água na capacidade de campo (θ_{CC}), ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), porosidade de aeração de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ (θ_{PA}) e resistência do solo à penetração de $2,0 \text{ MPa}$ (θ_{RP}), em função da densidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico, na profundidade de 10-20 cm, submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consórcio com diferentes forrageiras suprimidas com herbicida nicosulfuron. A: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. B: Milho consorciado com *Panicum maximum* cv. Mombaça. C: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã. D: Milho consorciado com *Brachiaria ruziziensis* cv. Ruzizienses. E: Milho consorciado com *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés. F: Milho solteiro.

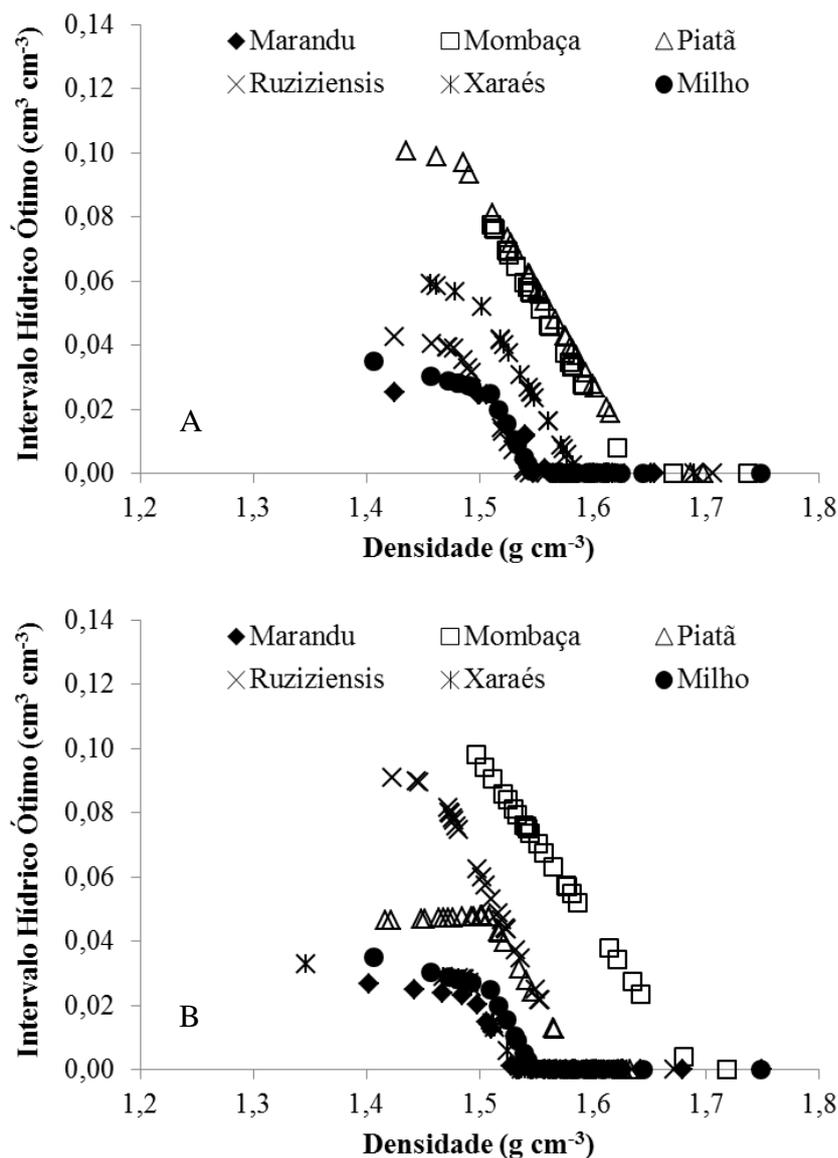


FIGURA 7. Variação do Intervalo Hídrico Ótimo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em função da densidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico, na profundidade de 10-20 cm, submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consórcio com diferentes forrageiras sem (A) ou com (B) supressão através do herbicida nicosulfuron.

Segundo Guimarães et al. (2013), a qualidade física do solo é maior em um solo com forrageiras, quando comparado com outros sistemas de cultivos, onde a diminuição do IHO é menos acentuada com o aumento da Ds. Assim, isso deve estar relacionado com crescimento das raízes, que formam os chamados canalículos, os quais são gerados a partir de sua exploração e decomposição, diminuindo os problemas relacionados com a compactação e facilitando a penetração das raízes que estão por vir em sucessão (ARAUJO et al., 2013).

Pode-se observar, também, que os limites superiores do conteúdo de água foram definidos pela porosidade de aeração (PA) e os limites inferiores pela resistência à penetração (RP) em todos os tratamentos estudados (Figuras 2, 3, 5 e 6); o que reflete a importância da densidade do solo para a disponibilidade de água para as plantas, pois quanto maior a densidade do solo menor a porosidade total e maior a dificuldade de penetração das raízes. Outros estudos também já observaram que a PA passou a ser o limite superior do IHO, indicando diminuição dos macroporos, os quais são responsáveis pela drenagem de água e difusão de gases no solo (CHEN et al., 2015). Segundo Betioli Junior et al. (2012), a variação de RP é dependente da variação de θ , sendo influenciada pelo aumento de D_s e apresentando-se como o principal fator físico limitante às plantas, assim como o constatado pelos autores Guedes Filho et al. (2013), Miola et al. (2015), Prado (2015), Dias et al. (2016), Vischi Filho et al. (2016), Gomes (2017) e Pellin (2017).

A densidade do solo crítica (D_{sc}), que pode ser definida como a densidade em que o IHO se iguala a zero, ou seja, quando o limite superior do IHO equivale ao limite inferior e, conseqüentemente, a disponibilidade de água para as plantas é restrita (SILVA et al., 1994), variou de 1,54 a 1,64 g cm^{-3} para os tratamentos sem supressão (Figura 4A) e de 1,54 a 1,66 g cm^{-3} para os tratamentos com supressão através de herbicida (Figura 4B), na profundidade de 0-10 cm (Figura 4). O máximo conteúdo de água obtido foi de 0,086; 0,037; 0,107; 0,101; 0,062 e 0,033 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, nas densidades de 1,46; 1,30; 1,37; 1,37; 1,44 e 1,42 g cm^{-3} , nos tratamentos MASS, MOSS, PISS, RUSS, XASS e MS, respectivamente (Figura 4A). Assim como 0,067; 0,038; 0,068; 0,094; 0,019 e 0,033 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, nas densidades de 1,40; 1,39; 1,49; 1,49; 1,49 e 1,42 g cm^{-3} , nos tratamentos MACS, MOCS, PICS, RUCS, XACS e MS, respectivamente (Figura 4B).

Já no que se refere à densidade crítica do solo (D_{sc}) na profundidade de 10-20 cm (Figura 7), esta variou de 1,54 a 1,69 g cm^{-3} para os tratamentos sem supressão (Figura 7A) e de 1,54 a 1,72 g cm^{-3} para os tratamentos com supressão através de herbicida (Figura 7B). O máximo conteúdo de água obtido foi de 0,025; 0,078; 0,101; 0,043; 0,059 e 0,035 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, nas densidades de 1,43; 1,51; 1,44; 1,43; 1,46; 1,41 g cm^{-3} , nos tratamentos MASS, MOSS, PISS, RUSS, XASS e MS, respectivamente (Figura 7A). Assim como 0,027; 0,098; 0,048; 0,091; 0,033 e 0,035 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, nas densidades de 1,40; 1,50; 1,50; 1,42; 1,35 e 1,41 g cm^{-3} , nos tratamentos MACS, MOCS, PICS, RUCS, XACS e MS, respectivamente (Figura 7B).

A partir do momento em que comparamos os tratamentos com e sem supressão através de herbicidas, notamos que a densidade crítica do solo (D_{sc}) varia de 1,59 a 1,61 g cm^{-3} para os tratamentos com e sem supressão, na profundidade de 0-10 cm (Figura 8A); e de 1,60 a 1,61 g cm^{-3} para os tratamentos com e sem supressão, na profundidade de 10-20 cm, respectivamente (Figura 8B). Além disso, comumente o conteúdo de água disponível diminuiu consideravelmente a partir da densidade de 1,5 g cm^{-3} para todos os consórcios e manejos estudados, em ambas profundidades.

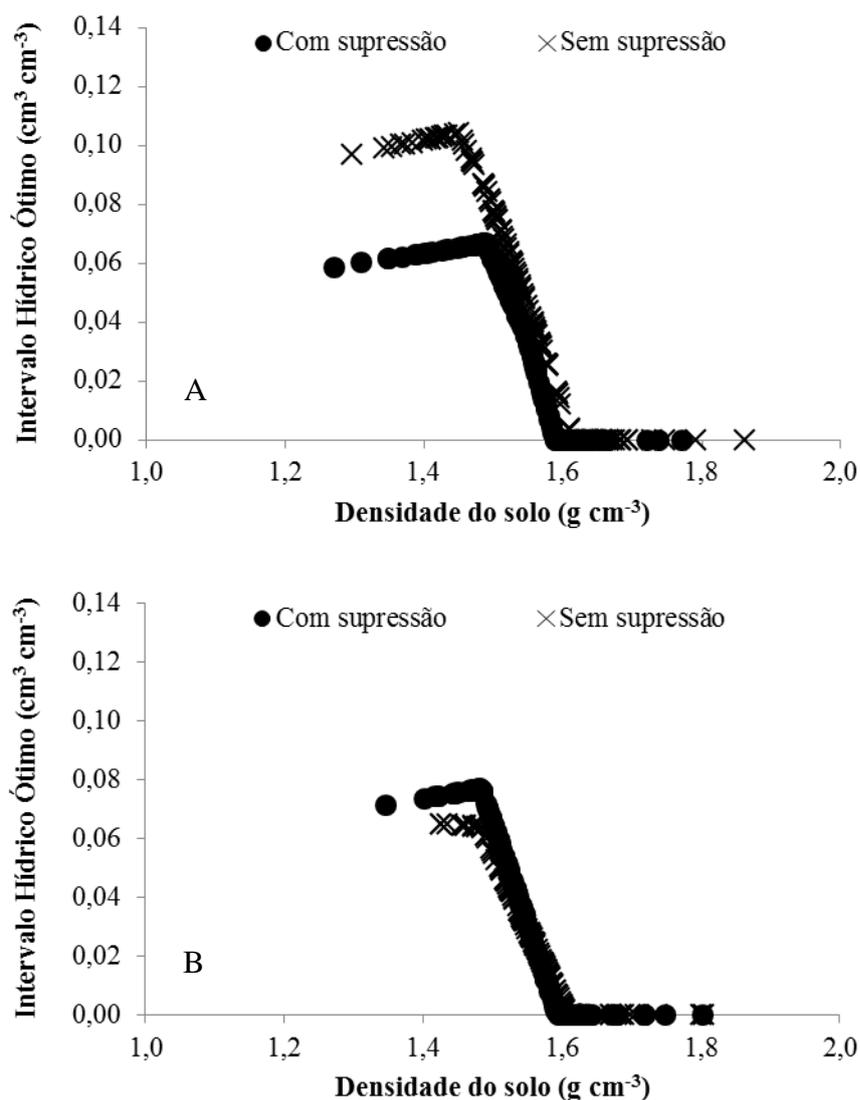


FIGURA 8. Variação do Intervalo Hídrico Ótimo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) em função da densidade de um Latossolo Vermelho Distroférrico, nas profundidades de 0-10 cm (A) e 10-20 cm (B), submetido a distintos sistemas de produção de milho a partir do consórcio com diferentes forrageiras sem ou com supressão através do herbicida nicosulfuron.

O máximo conteúdo de água obtido, na profundidade de 0-10 cm, foi de 0,067 e 0,104 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, nas densidades de 1,49 e 1,45 g cm^{-3} , e nos tratamentos com e sem supressão, respectivamente (Figura 8A). Enquanto na profundidade de 10-20 cm, foi de 0,077 e 0,065 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, nas densidades de 1,48 e 1,43 g cm^{-3} , nos tratamentos com e sem supressão, respectivamente (Figura 8B).

Observa-se, assim, que a utilização da supressão com herbicida nas forrageiras afetou o IHO na profundidade de 0-10 cm, interferindo no conteúdo de água disponível para as plantas nesta camada de solo. Isso pode estar relacionado com o efeito regulador do herbicida nicosulfuron sobre o desempenho das forrageiras (JAKELAITIS et al., 2005; XAVIER, 2017) e, ou, pela realização de uma operação a mais durante o manejo supressivo (PACHECO & CANTALICE, 2011), pois o efeito é sentido na camada mais superficial do solo, não chegando a alterar a camada mais profunda.

De acordo com Blainski et al. (2009), as condições físicas são altamente restritivas para o crescimento das plantas quando os valores de densidade do solo são maiores que a densidade crítica, tanto pela redução da aeração quanto pela excessiva resistência do solo a penetração. Além da Dsc, onde o IHO é zero, segundo Guimarães et al. (2013), também pode ser identificada a densidade do solo de alerta (Dsa), que corresponde ao valor de Ds em que ao menos um dos limites de água disponível no solo (superior ou inferior) não são mais definidos pela capacidade de campo ou pelo ponto de murcha permanente.

Como neste estudo todos os limites superiores do IHO foram definidos pela excessiva resistência do solo à penetração (θ_{RP}), e todos os limites inferiores foram definidos pela reduzida porosidade de aeração (θ_{PA}), esses parâmetros podem se tornar importantes ferramentas para tomadas de decisão a partir da detecção da Dsa e, com isso, a adoção de medidas eficientes de recuperação. Desta forma, cada sistema de consórcio deve ser manejado individualmente para a antecipação de medidas de controle, o que evita condições mais severas e restritivas ao crescimento das plantas, como quando a Ds está próxima ou superior à Dsc (NASCIMENTO, 2017).

Vale ressaltar, ainda, que além dos benefícios das forrageiras para o conteúdo de água disponível para as plantas, conforme observado neste trabalho, a palhada dessas espécies aumentam essas diferenças em situações de campo. Assim, como as determinações de IHO foram realizadas em condições simuladas de umidade e pressão, igualmente para todos os tratamentos, não foi considerado os benefícios da cobertura formada pela palhada sobre a superfície do solo no que se refere à manutenção da

umidade no sistema. Portanto, além do consórcio fornecer mais água para as raízes das plantas, ele também possui a capacidade de reter mais umidade por maiores períodos de tempo, o que é extremamente importante para locais que constantemente sofrem com períodos prolongados de veranicos, como Dourados e região, em Mato Grosso do Sul.

CONCLUSÕES

Os diferentes consórcios de milho com forrageiras aumentam o Intervalo Hídrico Ótimo (IHO) do solo, com exceção para a utilização de *Panicum maximum* cv. Mombaça na profundidade de 0-10 e *Brachiaria brizantha* cv. Marandu na profundidade de 10-20 cm, independente do manejo empregado.

O manejo de supressão das forrageiras interfere negativamente no Intervalo Hídrico Ótimo do solo na profundidade de 0-10 cm. A *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés foi a forrageira em que o manejo supressivo apresentou maior interferência em seus efeitos positivos para o conteúdo de água disponível para as plantas, independente da profundidade estudada.

As forrageiras utilizadas no consórcio originaram diferenciados valores de densidade do solo crítica, a partir da variação entre os limites críticos de porosidade de aeração e resistência à penetração, utilizados na definição do IHO.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, GERD. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

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, F. S.; SOUZA, Z. M.; SOUZA, G. S.; MATSURA, E. E.; BARBOSA, R. S. Espacialização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho em dois sistemas de colheita de cana-de-açúcar. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 48, n. 6, p. 651-660, 2013.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; SANTOS, J. C. F.; DEBIASI, H.; YOKOYAMA, A. H. Contribution of roots and shoots of Brachiaria species to soybean performance in succession. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 52, n. 8, p. 592-598, 2017.

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

BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W. H.; 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, n. 3, p. 971-982, 2012.

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, n. 2, 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, n. 1, p. 79-87, 2012.

BONO, J. A. M.; MACEDO, M. C. M.; TORMENA, C. A. Qualidade física do solo em um Latossolo Vermelho da região sudoeste dos Cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 743-753, 2013.

BRADFORD, J. M. Penetrability. In: KLUTE, A., ed. **Methods of soil analyses - physical and mineralogical methods**. 2 ed. Madson, ASA – SSSA, 1986. p. 463-478.

BUSSCHER, W. J. Adjustment of that-tipped penetrometer resistance data to a common water content. **Transactions of the ASAE**, v. 33, n. 2, p. 519-524, 1990.

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, n. 6, 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, n. 3, p. 759-771, 2011.

CECCON, G.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Modalidades e métodos de implantação do consórcio milho-braquiária. In: CECCON, G. **Consórcio Milho-Braquiária**. n.1. Brasília, DF: Embrapa, 2013, p.27-46.

CHEN, X. W.; SHI, X. H.; LIANG, A. Z.; ZHANG, X. P.; JIA, S. X.; FAN, R. Q.; WEI, S. C. Least limiting water range and soil pore-size distribution related to soil organic carbon dynamics following zero and conventional tillage of a black soil in Northeast China. **Journal of Agricultural Science**, v. 153, n. 2, p. 270–281, 2015.

CLAESSEN, M. E. C.; BARRETO, W. O.; PAULA, J. L.; DUARTE, M.N. (Orgs). **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. 212p.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; BORGHI, E.; MATEUS, G. P. Integração lavoura-pecuária: benefícios das gramíneas perenes nos sistemas de produção. **Informações Agronômicas**, v. 125, n. 1, p.2-15, 2009.

DIAS, C. B.; ROCHA, G. C.; ASSIS, I. R.; FERNANDES, R. B. A. Intervalo hídrico ótimo e densidade crítica de um Latossolo Amarelo coeso sob diferentes usos no ecossistema Tabuleiro Costeiro. **Revista Ceres**, v. 63, n. 6, p. 868-878, 2016.

DIOGENES, L. C.; NOBREGA, J. C. A.; NOBREGA, R. S. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; SILVA, J. L.; MATIAS, S. S. R.; SANTOS, G. G. Resistência à penetração e atributos químicos em um Latossolo do Piauí sob monocultivos e consórcio de gramíneas irrigados. **Irriga**, Edição Especial, Grandes Culturas, p. 181-195, 2016.

GARBIATE, M. V.; VITORINO, A. C. T.; PRADO, E. A. F.; MAUAD, M.; PELLIN, D. M. P. Hydrophysical Quality of an Oxisol and Sugarcane Yield in Chisel Plow-

Based Sugarcane Ratoon Management. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 40, n. 1, p. 1-13, 2016.

GOMES, M. S. **Níveis de palhço, manejo e qualidade física de solo cultivado com cana**. 2017. 71p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, 2017.

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 America Journal**, v. 32, n. 2, p. 18-186, 1968.

GUEDES FILHO, O.; BLANCO-CANQUI, H.; SILVA, A. P. Least limiting water range of the soil seedbed for long-term tillage and cropping systems in the central Great Plains, USA. **Geoderma**, v. 207–208, n. 1, p. 99–110, 2013.

GUIMARÃES, L.; MUYLEAERT, R.; TORMENA, C. A.; BLAINSKI, E.; FIDALSKI, J. Intervalo hídrico ótimo para avaliação da degradação física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 6, p. 1512-1521, 2013.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, L. R.; SILVA, A. F.; FERREIRA, J. L.; VIANA, R. G. Efeitos de herbicidas no consórcio de milho com *Brachiaria brizantha*. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 69-78, 2005.

KAHLON, M. S.; CHAWLA, K. Effect of tillage practices on least limiting water range in Northwest India. **International Agrophysics**, v. 31, n. 1, p. 183-194, 2017.

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

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, n. 2, p. 71-78, 2012.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; COUTINHO, F. S.; ANJOS, L. H. C. Particulate organic matter in soil under different management systems in the Brazilian Cerrado. **Soil Research**, Melbourne, v.50, n.5, p.685-693, 2013.

MIOLA, E. C. C.; PAULETTO, E. A.; LIMA, C. L. R.; PINTO, L. F. S.; TIMM, L. C. Intervalo hídrico ótimo em solo construído após mineração de carvão em diferentes

limites críticos de resistência à penetração e umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 563-572, 2015.

NASCIMENTO, D. M. **Qualidade física do solo sob sistemas de produção integrados - ILP e ILPF**. 2017. 47p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo, Qualidade e Conservação do solo e da água) – Universidade Federal do Paraná, 2017.

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.

PELLIN, D. M. P. **Níveis de palhço e qualidade físico-hídrica de um latossolo vermelho cultivado com cana-de-açúcar**. 2017. 72p. Tese (Doutorado em Agronomia, Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, 2017.

PRADO, E. A. F. **Qualidade física promovida por manejos de solo e espécies na renovação do canavial**. 2015. 89p. Tese (Doutorado em Agronomia, Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, 2015.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, n. 3, p. 211-216, 1988.

ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; RAMOS, M. L. G.; OLIVEIRA, A. S.; BARTHOLO, G. F. Qualidade físico-hídrica de um Latossolo sob irrigação e braquiária em lavoura de café no cerrado. **Coffee Science**, v. 9, n. 4, p. 516 - 526, 2014.

ROQUE, A. A. O.; SOUZA, Z. M.; ARAÚJO, F. S.; SILVA, G. R. V. Atributos físicos do solo e intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distrófico sob controle de tráfego agrícola. **Ciência Rural**, v. 41, n. 9, p. 1536-1542, 2011.

ROSA, D. M.; NOBREGA, L. H. P.; MAULI, M. M.; LIMA, G. P.; PACHECO, F. P. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 221-230, 2017.

ROSS, P. J.; WILLIAMS, J.; BRISTOW, K. L. Equations for extending water-retention curves to dryness. **Soil Science Society of American Journal**, v. 55, n. 4, p. 923-927, 1991.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil:

Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, n. 2, p. 70-79, 2014.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

SANTOS, P. R. A. **Consórcio de milho com forrageiras: atributos físicos do solo e produtividade**. 2016. 84p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal do Ceará, 2016.

SAVAGE, M. J.; RITCHIE, J. T.; LAND, W. L.; DUGAS, W. A. Lower limit of soil water available. **Agronomy Journal**. v. 88, n. 5, p. 844-851, 1996.

SEIDEL, E. P.; GERHARDT, I. F. S.; CASTAGNARA, D. D.; NERES, M. A. Efeito da época e sistema de semeadura da *Brachiaria brizantha* em consórcio com o milho, sobre os componentes de produção e propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 55-66, 2014.

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.

SILVA, A. P.; KAY, B. D. The sensitivity of shoot growth of corn to the least limiting water range of soils. **Plant and Soil**, v. 184, n. 1, p. 323-329, 1996.

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

VISCHI FILHO, O. J.; SOUZA, Z. M.; SOUZA, G. S.; SOUSA, A. C. M.; SILVA, R. B. Intervalo hídrico ótimo em área de cana-de-açúcar com diferentes ciclos de colheita mecanizada. **Irriga**, Edição Especial, Grandes Culturas, p. 96-108, 2016.

VISCHI FILHO, O. J.; SOUZA, Z. M.; SOUZA, G. S.; SILVA, R. B.; TORRES, J. L. R.; LIMA, M. E.; TAVARES, R. L. M. Physical attributes and limiting water range as soil quality indicators after mechanical harvesting of sugarcane. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 2, p. 169-176, 2017.

XAVIER, A. N. **Retardo no crescimento de plantas de *Urochloa ruziziensis* com herbicidas na cultura do milho**. 2017. 67p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Produção Vegetal) – Universidade Federal de Goiás, 2017.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A introdução de forrageiras no sistema de produção de milho safrinha, durante o outono-inverno e através do consórcio milho-forrageiras, proporciona melhorias à qualidade físico-hídrica de um Latossolo Vermelho Distroférico.

Todas as forrageiras utilizadas, como a *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, o *Panicum maximum* cv. Mombaça, a *B. brizantha* cv. BRS Piatã, a *Brachiaria ruziziensis* cv. Ruzizienses e a *B. brizantha* cv. Xaraés, ao menos em uma variável avaliada e uma profundidade estudada (0-10 e 10-20 cm), apresentaram-se superiores ao cultivo de milho solteiro nas condições em que o trabalho foi conduzido.

A utilização do manejo supressivo das forrageiras, ao longo de duas safras de cultivo, não interfere nos efeitos positivos sobre as variáveis físicas estudadas. No entanto, afeta o Intervalo Hídrico Ótimo do solo na profundidade de 0-10 cm.