

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

GUILHERME ANGHINONI

Qualidade física do solo em sistemas de produção no Mato Grosso

Maringá

2016

GUILHERME ANGHINONI

Qualidade física do solo em sistemas de produção no Mato Grosso

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Agronomia do
Departamento de Agronomia, Centro de Ciências
Agrárias da Universidade Estadual de Maringá,
como requisito parcial para obtenção do título de
Mestre em Agronomia.

Área de concentração: Solos e
Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof Dr Cássio Antonio
Tormena.

Maringá

2016

GUILHERME ANGHINONI

Qualidade física do solo em sistemas de produção no Mato Grosso

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Antônio Carlos Andrade Gonçalves

Engenheiro Agrônomo Dr. Claudinei Kappes

Prof. Dr. Cássio Antonio Tormena
Universidade Estadual de Maringá (Orientador)

Aprovado em 11 de Fevereiro de 2016.

Local de defesa: Bloco J-45, sala 126, *campus* sede da Universidade Estadual de Maringá, às 14 h.

A todos que me auxiliaram na manutenção da fé, a fim de me tornar quem sou hoje:
Deus, meus pais, minha irmã e minha linda esposa,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que nos momentos mais difíceis me mostrou sua benevolência e sempre me deu motivos para melhorar o que posso.

À Universidade Estadual de Maringá e ao Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Maringá, por oferecer a oportunidade de continuar meus estudos.

Ao Professor Doutor Cássio Antonio Tormena, que desde o início do curso de graduação me acolheu como estagiário do laboratório de física do solo do DAG/UEM, e que me acompanha até hoje. Ainda, gostaria de agradecer todo o esforço realizado por ele para concretizar a defesa de dissertação e pela amizade ao longo destes anos.

Aos professores do Programa de pós Graduação em Agronomia, pela formação e pelo auxílio em vários momentos pessoais e profissionais.

Aos meus colegas do laboratório de física do solo, Rafaela Watanabe, Edner Betioli Júnior, Wagner Henrique Moreira, Camila Jorge Bernabé Ferreira, Hélio Henrique Soares Franco e Reinaldo Bernardo, que me prestaram valiosa ajuda e pelo suporte durante todo o período em que estive trabalhando e estudando na área de física do solo, e pela amizade.

Ao Leandro Zancanaro, por quem tenho grande admiração, pelo exemplo e pelo incentivo aos estudos.

À Fundação MT, e em especial ao Programa de Manejo e Adubação, pela disponibilização e manutenção do experimento no qual este trabalho foi realizado.

Ao pesquisador Claudinei Kappes, do Programa de Manejo e Adubação da Fundação MT, pela ajuda na obtenção de dados para a elaboração deste trabalho e pelas valiosas discussões sobre o tema.

Aos meus pais, que não deixaram as dificuldades de suas vidas obstruírem o amor do lar e da família, fazendo com que sinta eterna gratidão e imenso amor pela vida que me deram, e que me inspiram a cada dia.

A minha irmã, que esteve comigo em muitos momentos em que precisei e que me ama muito.

A minha linda, inteligente e doce esposa, que insiste em me alegrar toda vez que preciso, que me ajuda com tudo o que pode, e que me dá motivos para construir uma família.

De maneira diferenciada dos acima mencionados, à Fernanda Brunetta Godinho Anghinoni, Gabriela Anghinoni e Rafaela Watanabe por me ajudarem na coleta de amostras de solo.

Muito Obrigado!

BIOGRAFIA

GUILHERME ANGHINONI, filho de Valmor Anghinoni e Dulce de Souza Anghinoni, nasceu em 14/06/1990, em Cascavel-PR. Morou, desde o nascimento até os 6 anos de idade, na fazenda em que o pai trabalha e dos 6 anos de idade até a conclusão do ensino médio morou em Rondonópolis-MT. Sempre teve admiração pela agricultura e por isso resolveu cursar Agronomia na Universidade Estadual de Maringá, em 2009. Iniciou o estágio na área de física do solo no primeiro ano de graduação e ao final do curso fez estágio não remunerado na Ohio State University sob orientação do Professor Rattan Lal. Atualmente é mestrando na área de física do solo da Universidade Estadual de Maringá pelo PGA.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Preparo do Solo	17
2.2 Rotação de Culturas	20
2.3 Indicadores de Qualidade Física do Solo	22
3 MATERIAL E MÉTODOS	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Propriedades físicas do solo	31
4.2 Resposta das culturas aos efeitos do regime de precipitação pluvial e da qualidade física do solo	41
5 CONCLUSÕES	49
6 REFERÊNCIAS	50

Lista de Figuras

Figura 2. Indicadores de qualidade física do solo, relativos à porosidade entre o solo saturado e seco: os tradicionais- macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT) e os propostos por Reynolds et al. (2002). Fonte: Fidalski et al. (2008).....	30
Figura 2. Regime de precipitação pluvial e de temperaturas máxima e mínima diária da estação cachoeira durante o ciclo da cultura do algodoeiro. O eixo horizontal refere-se à quantidade de dias após a semeadura (DAS) da cultura do algodoeiro. FONTE: Fundação MT.....	43
Figura 3. Regime de precipitação pluvial e de temperaturas máxima e mínima diária da estação cachoeira durante o ciclo da cultura da soja. O eixo horizontal refere-se à quantidade de dias após a semeadura (DAS) da cultura da soja. FONTE: Fundação MT.	43

Lista de Tabelas

Tabela 1. Classe textural das camadas de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m de um Latossolo Vermelho distrófico localizado na estação experimental Cachoeira.	25
Tabela 2. Sistemas de produção utilizados para a avaliação de sistemas de produção de fibra em diferentes esquemas de sucessão e rotação de culturas, no Estado de Mato Grosso ¹ . Estação Experimental Cachoeira, Itiquira – MT.....	26
Tabela 3. Resumo da análise de variância de algumas variáveis significativas para a camada de 0,0-0,1 m de um Latossolo vermelho distrófico sob dois sistemas de preparo (M) e diferentes sistemas de produção (SP) em Itiquira-MT.	31
Tabela 4. Atributos de QFS sob PD e PC na camada de 0,0-0,1 m de um LATOSSOLO Vermelho distrófico em Itiquira-MT.	32
Tabela 5. Porosidade no domínio dos macroporos (POMAC), expressa em $m^3 m^{-3}$ na camada de 0,0-0,1 m em sistemas de produção de um LATOSSOLO Vermelho distrófico, sob PD e PC, em Itiquira-MT.	32
Tabela 6. Porosidade no domínio da matriz do solo (POMAT), expressa em $m^3 m^{-3}$, na camada de 0,0-0,1 m em sistemas de produção de um LATOSSOLO Vermelho distrófico, sob PD e PC, em Itiquira-MT.	33
Tabela 7. Resumo da análise de variância da única variável significativa (POMAT) para a camada de 0,1-0,2 m de um Latossolo vermelho distrófico sob dois sistemas de preparo (M) e diferentes sistemas de produção (SP) em Itiquira-MT.....	38
Tabela 8. Porosidade no domínio da matriz do solo (POMAT) na camada de 0,1-0,2 m de um LATOSSOLO Vermelho distrófico sob PD e PC em Itiquira-MT.	38
Tabela 9. Resumo da análise de variância de algumas variáveis significativas para a camada de 0,2-0,4 m de um Latossolo vermelho distrófico sob dois sistemas de preparo (M) em Itiquira-MT.....	39
Tabela 10. Capacidade de campo (CC), porosidade no domínio da matriz do solo (POMAT) e índice de continuidade de poros (K1) na camada de 0,2-0,4 m de um LATOSSOLO Vermelho distrófico sob PD e PC em Itiquira-MT.	40
Tabela 11. Rendimento de algodão em caroço (RAC) médio, em $kg ha^{-1}$, nos SP1, SP2 e SP3 e médias de produtividade de grãos da soja (PROD), em $kg ha^{-1}$, sob PC e PD. ...	41
Tabela 12. Correlação entre o RAC dos tratamentos sob cultivo de algodoeiro e alguns indicadores de qualidade física do solo medidos nas três camadas estudadas.	44
Tabela 13. Correlação entre a PROD dos tratamentos sob cultivo de soja o e alguns indicadores de qualidade física do solo medidos nas três camadas estudadas.	45
Tabela 14. Produtividade relativa de cinco sistemas de produção sob PC e PD, em um LATOSSOLO Vermelho distrófico.....	47

Índice de Anexos

Anexo 1. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD), representados na unidade de kg m^{-3} , e P-valor do teste de Shapiro Wilk ($\text{Pr}<w$) para a variável Ds (kg m^{-3}) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP, SP4 e SP5).	62
Anexo 2. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD), representados na unidade de $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, e P-valor do teste de Shapiro Wilk ($\text{Pr}<w$) para a variável PT ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP, SP4 e SP5).	63
Anexo 3. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD), representados na unidade de $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, e P-valor do teste de Shapiro Wilk ($\text{Pr}<w$) para a variável CC ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP, SP4 e SP5).	64
Anexo 4. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD) e P-valor do teste de Shapiro Wilk ($\text{Pr}<w$) para a variável CC/PT (adimensional) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP, SP4 e SP5).	65
Anexo 5. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD), representados na unidade de $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, e P-valor do teste de Shapiro Wilk ($\text{Pr}<w$) para a variável POMAC ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP, SP4 e SP5).	66
Anexo 6. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD), representados na unidade de $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, e P-valor do teste de Shapiro Wilk ($\text{Pr}<w$) para a variável POMAT ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP, SP4 e SP5).	67
Anexo 7. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD), representados na unidade de $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, e P-valor do teste de Shapiro Wilk ($\text{Pr}<w$) para a variável CAMAT ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP, SP4 e SP5).	68
Anexo 8. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD), representados na unidade de $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, e P-valor do teste de Shapiro Wilk ($\text{Pr}<w$) para a variável CATSOLO ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP, SP4 e SP5).	69
Anexo 9. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD), representados na unidade de μm^2 , e P-valor do teste de Shapiro Wilk ($\text{Pr}<w$) para a variável Ka (μm^2) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações	

das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP, SP4 e SP5).	70
Anexo 10. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD) e P-valor do teste de Shapiro Wilk ($Pr < w$) para a variável K1 (adimensional) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP, SP4 e SP5).....	71

Lista de abreviações

CAMAT- Capacidade de ar na matriz do solo

CATSOLO- Capacidade de ar do solo

CC- Capacidade de campo

CC/PT - Capacidade de armazenamento de água do solo

Ds- Densidade do solo

K1- índice de continuidade do sistema poroso

Ka- Permeabilidade do solo ao ar

M- Sistema de preparo

PC- Preparo convencional do solo

PD- Plantio direto

POMAC- Porosidade no domínio dos macroporos

POMAT- Porosidade no domínio da matriz do solo

PROD- Produtividade de grãos de soja

PRODR- Produtividade relativa

PT- Porosidade total

QFS- Qualidade física do solo

RAC- Rendimento de algodão em caroço

RC- Rotação de Culturas

SP- Sistema de produção

Qualidade física do solo em sistemas de produção no Mato Grosso

Resumo: A agricultura brasileira recebe grande contribuição da região Centro Oeste do Brasil, que está sob o bioma do cerrado, a qual é responsável por grande parte da produção brasileira de grãos e fibra de algodão. Por outro lado, as produtividades das culturas têm apresentado estagnação, o que pode indicar um problema relacionado ao uso inadequado de algumas tecnologias. Apesar da qualidade física do solo (QFS) ser importante para a qualidade de um sistema de produção agrícola, o seu estudo é pouco difundido, principalmente nos sistemas de produção da região dos cerrados. Esta pesquisa testou a hipótese de que a qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico, localizado no Centro-Oeste do Brasil, é influenciada pelos sistemas de preparo do solo e pelo sistema de produção com utilização de sucessão ou rotação de culturas. Foram determinadas as propriedades físicas do solo em plantio direto (PD) e preparo convencional do solo (PC) nas camadas de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m de um Latossolo Vermelho distrófico sob 5 diferentes sistemas de produção compostos por estratégias de sucessão e rotação de culturas utilizados para a produção de algodão em Itiquira-MT. O delineamento experimental é de blocos casualizados com 4 repetições e parcelas divididas. Foram medidos a permeabilidade do solo ao ar (K_a), índice de continuidade de poros do solo (K_1), umidade do solo na capacidade de campo (CC), porosidade no domínio dos macroporos do solo (POMAC), porosidade no domínio da matriz do solo (POMAT), a capacidade de ar do solo (CASOLO), capacidade de ar da matriz do solo (CAMAT), a relação entre a capacidade de retenção de água e a porosidade total (CC/PT), densidade do solo (DS), bem como as produtividades das culturas do algodoeiro e da soja. Na camada de 0-0,1 m o PD apresentou maior densidade do solo e umidade na capacidade de campo (CC) que o PC; já o PC teve maior macroporosidade, condutividade gasosa e melhor continuidade de poros. O sistema de produção com monocultura do algodão e a sucessão com o algodoeiro e milho apresentaram menores valores de porosidade no domínio dos macroporos. Na camada de 0-0,2 m verificaram-se menores valores de porosidade no domínio da matriz do solo (POMAT) sob PC nos sistemas de produção que incluíam a cultura da soja. Já na camada de 0,2-0,4 m verificaram-se maiores valores de CC e POMAT no PC, enquanto a conectividade dos poros foi reduzida. O PD teve produtividade de soja 10,2% maior que o PC atribuído ao melhor suprimento hídrico à cultura sob PD. O rendimento de algodão em caroço foi menor sob a monocultivo de algodão, não sendo possível associar este resultado à diferença de QFS entre os sistemas de produção. Conclui-se que os diferentes sistemas de produção e sistemas de preparo influenciaram a qualidade física do solo. Todavia, o efeito da qualidade física do solo na produtividade somente foi observado quando as plantas foram submetidas a déficit hídrico, como no caso da cultura da soja.

Palavras-chave: Qualidade do solo; plantio direto; preparo convencional do solo; rotação de culturas.

Qualidade física do solo em sistemas de produção no Mato Grosso

Soil physical quality in cropping systems at Mato Grosso

Abstract: Brazilian agriculture receives great contribution of the Midwest region of Brazil, which is under the cerrado biome and responsible for much of the Brazilian production of grains and cotton fiber. On the other hand, crop yields have shown stagnation, which may indicate a problem related to the inappropriate use of some technologies. Despite the fact that soil physical quality (SPQ) is important to the quality of an agricultural production system, its study is not yet widespread, especially in the Cerrado production systems. This study tested the hypothesis that the physical quality of a dystrophic Latossolo Vermelho, located in the Midwest of Brazil, is influenced by soil tillage systems and production systems with use of succession or crop rotation. We determined soil physical properties in no tillage (NT) and conventional tillage (CT), at the 0.0-0.1 m, 0.1-0.2 and 0.2-0.4 m layers of an Oxisol under 5 different production systems composed of cotton crop succession and rotation strategies in Itiquira-MT. The experimental design is a randomized block with 4 replications and split plots. We measured soil Air permeability (Ka), Pores continuity index (K1), Moisture at field capacity (FC), porosity at the macropores domain (POR_m), porosity at the soil matrix domain (POR_s), soil air capacity (CASOLO), air capacity of the soil matrix (CAMAT), the relationship between moisture at FC and total porosity (FC/TP), Bulk density (BD) as well as the yield of cotton and soybean crops. The NT 0-0.1 m layer had higher BD and FC than the CT. Differently, the CT had greater macroporosity, gaseous conductivity and better continuity of pores. The production systems of cotton monoculture and cotton/millet succession showed lower values of POR_m. At the 0-0.2 m layer, POR_s was greater under PC in the production systems that included the soybean crop. The 0.2-0.4 m layer of CT had higher FC and POMAT, while K1 was lower. The NT resulted in 10.2% higher soybean yield than the one found for PC, attributed to the better water supply to the crop under NT. The cotton yield of fiber and seeds was lower in the cotton monoculture, although it is not possible to link this result to SPQ differences between the production systems. We conclude that the different cultivation schemes and tillage systems affected the soil physical quality. However, the effect of soil physical quality in crop yields was only observed when the plants were subjected to water deficit, as in the case of the soybean crop.

Keywords: soil quality; no tillage; conventional tillage; crop rotation.

1 INTRODUÇÃO

A contribuição da região Centro-Oeste do Brasil para a produção brasileira de grãos e fibras é expressiva e tem aumentado nos últimos anos. Apesar do cultivo do algodoeiro estar distribuído por 15 estados brasileiros, aproximadamente 85% da área cultivada com algodão está concentrada em Mato Grosso e na Bahia. Segundo o levantamento da Conab (2015), a Região Centro-Oeste foi a que mais contribuiu para a produção da fibra de algodão na safra 2014/2015 e a que apresentou a maior redução na área cultivada em comparação com a safra do ano de 2013/2014. Essa região também contribuiu com aproximadamente 40% da área de produção de grãos do Brasil, produzindo 42% do total. Este acréscimo na produção agrícola da região Centro-Oeste se deve, principalmente, ao fato de que o mercado internacional de produtos agrícolas está cada vez demandando maiores quantidades de grãos e carne. Além disso, as condições favoráveis de clima e fertilidade têm favorecido o aumento no crescimento da agricultura do cerrado brasileiro.

Por outro lado, a produção agrícola desta região tem enfrentado limitações relacionadas ao aumento da produtividade. No estado do MT, por exemplo, houve um aumento de produtividade média da soja de 1.380 kg ha⁻¹ para 2.820 kg ha⁻¹ entre os anos de 1980 e 2000, ou seja, um aumento de cerca de 100% na produtividade em 20 anos, o que resultaria em um incremento médio de 5% ao ano na produtividade média estadual. Por outro lado, no ano de 2015, o estado alcançou uma produtividade média da mesma cultura de 3.180 kg ha⁻¹, a qual comparada com a produtividade obtida em 2000 representa um aumento de 12% na produtividade em um período de 15 anos, ou um aumento médio de 0,8% ao ano na produtividade média estadual (Conab, 2015; Zancanaro, 2015). Apesar do impacto positivo do melhoramento genético, a discrepância entre os aumentos de produtividade durante estes períodos provavelmente está relacionada à baixa eficiência tecnológica das práticas utilizadas pelos produtores, ou até mesmo ao uso inadequado das tecnologias agrícolas.

Mesmo que responda por somente 1,07% da produção agrícola brasileira, o cultivo do algodoeiro tem demonstrado aumentos de produtividade na região Mato-grossense, segundo a Conab (2016). O aumento no rendimento de algodão em caroço foi de 1800 kg ha⁻¹ para 3943 kg ha⁻¹ entre as safras de 1996/1997 e 2015/2016, ou seja, houve aumento de quase 120% na produção de algodão em caroço em um período de 19 anos.

Tecnologias básicas e comprovadamente benéficas para a produção agrícola nem sempre são utilizadas corretamente. Devido a utilização de culturas com sistema radicular menos sensíveis a impedimentos físicos do solo (compactação) e aos diferentes aportes de matéria seca ao solo, a rotação de culturas (RC) executada de forma adequada se torna muito benéfica na produção agrícola (Stone e Silveira, 2001). A prática de RC influencia também em outros aspectos agronômicos como a maior facilidade no controle de doenças (Hoffmann *et al.*, 2004), o que acaba por influenciar a produtividade das culturas. A influência positiva da RC sobre a produtividade das culturas é largamente demonstrada no Brasil (Bertoni *et al.*, 1972). Linh *et al.* (2015) também demonstraram maior produtividade de arroz sob tratamento com rotação de culturas na Tailândia. Para Zancanaro e Tessaro (2006), os benefícios gerados pela adoção da RC, tais como maior aproveitamento de residual de fertilizantes devido à utilização de culturas com diferentes exigências nutricionais, menor incidência de plantas daninhas e de problemas fitossanitários, os mesmos não tem sido obtidos em lavouras de algodão sob plantio direto (PD). Em parte, isso se deve a falta de culturas comerciais com viabilidade econômica para serem utilizadas em sistema de rotação com o algodão como cultura principal.

Devido às condições climáticas favoráveis, a mineralização da matéria orgânica na região do bioma do cerrado chega a ser cinco vezes mais rápida do que aquela observada nas regiões temperadas (Sanchez e Logan, 1992). Por isso, a utilização de sistemas produtivos com maior aporte de carbono ao solo pelo acúmulo de resíduos é de extrema importância para manter ou aumentar os teores de matéria orgânica do solo. Além da utilização da RC, a utilização do PD desempenha papel fundamental para a adição de carbono ao solo, melhoria da fertilidade e aumento da produtividade das culturas (Lal, 2015).

Sistemas sustentáveis de produção exigem o desenvolvimento e a adoção de manejos e tecnologias que contribuam para a sustentabilidade produtiva e econômica da agricultura. Para isso, devem-se utilizar meios de medir efetivamente a qualidade do sistema produtivo. Para Kluthcouski *et al.* (2000), a demanda por elevadas produtividades torna o conceito de fertilidade do solo não apenas relevante à acidez, disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica, mas também à capacidade de armazenamento de água no solo e vários outros indicadores de qualidade física do solo (QFS). Todavia, o estudo da QFS está em plena expansão (Reynolds *et al.*, 2002), visto que ele influencia diretamente na produtividade das culturas. Os poucos estudos disponíveis decorrem da complexidade da avaliação desses atributos, que deve ser realizada por meio da utilização

de várias propriedades físicas do solo. As propriedades químicas do solo podem ser modificadas e corrigidas pela adição de fertilizantes e corretivos disponíveis aos produtores enquanto que a melhoria na qualidade física do solo envolve a tomada de decisões em relação aos sistemas de preparo e manejo do solo, os quais nem sempre podem ser facilmente quantificados.

Dessa forma, a discussão da QFS na região Centro-Oeste assume papel relevante visto a importância das propriedades físicas do solo para a sustentabilidade dos sistemas de produção e que ainda existe carência no estudo dos impactos das práticas de cultivo na QFS dessa região. Este estudo testa a hipótese de que a qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico, localizado no Centro-Oeste do Brasil, é influenciada pelos sistemas de preparo do solo (PD e PC) e pelo sistema de produção com utilização de sucessão ou rotação de culturas. Assim, os objetivos deste estudo são quantificar nas camadas de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m, a permeabilidade do solo ao ar (K_a), o índice de continuidade de poros do solo (K_1), a umidade do solo na capacidade de campo (CC), a porosidade no domínio dos macroporos do solo (POMAC), a porosidade no domínio da matriz do solo (POMAT), a capacidade de ar do solo (CATSOLO), a capacidade de ar da matriz do solo (CAMAT), a relação entre a capacidade de retenção de água e a porosidade total (CC/PT), a densidade do solo (DS). Objetiva-se também relacionar a produtividade das culturas de soja e algodão com os indicadores de qualidade física do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Preparo do Solo

O solo, além de servir de suporte mecânico, deve permitir o fornecimento de água, ar, calor e nutrientes às plantas, proporcionando boas condições de germinação e emergência às plântulas, e posteriormente, permitindo que estas alcancem suas produtividades potenciais (Moreira *et al.*, 2014). Por isso, as práticas agrícolas devem ser executadas com o objetivo de que o uso do solo não promova condições limitantes à produtividade das culturas. As práticas agrícolas influenciam a QFS, pois modificam o ambiente em que a planta está inserida, podendo acarretar limitações ao crescimento radicular (Foloni *et al.*, 2006), diminuição do suprimento de água (O'sullivan e Ball, 1993; Júnior e Estanislau, 1999) e de oxigênio às raízes (Czyż, 2004; Berisso *et al.*, 2012), entre outros efeitos que interferem de maneira negativa na produtividade das culturas. Dentre as interferências no solo que podem ser realizadas pelo homem, as que envolvem tráfego

e revolvimento do solo são as que influenciam mais fortemente nas condições físicas do solo, de modo que os benefícios e a rentabilidade de tais práticas são alvos de discussão ainda hoje.

Na história da agricultura, o revolvimento do solo se iniciou nas regiões onde há inverno mais rigoroso, com o intuito de aumentar a temperatura da camada arável para que a germinação das sementes das culturas fosse viabilizada o mais rapidamente possível. O sistema de plantio convencional (PC) baseia-se no revolvimento do solo, com arações e gradagens promovendo a redução do tamanho dos agregados, facilitando a mineralização da matéria orgânica e induzindo a degradação da estrutura do solo (Araújo *et al.*, 2007). Agregados menores podem propiciar melhor contato do solo com a semente, melhorando o suprimento de água para a germinação, e no caso da ausência de selamento superficial, pode prover maior facilidade na emergência das plântulas (Popinigis, 1985), bem como maior facilidade na semeadura, já que a energia gasta para a abertura dos sulcos é menor. Por outro lado, as vantagens observadas na utilização do PC são sobrepostas pelas desvantagens causadas pela maior suscetibilidade às perdas de solo pela erosão e outros fatores relacionados ao crescimento de plantas. Quando a chuva atinge o solo desagregado, sob a ausência de cobertura, ocorre diminuição da infiltração da água e/ou aumento da perda de água por escoamento superficial (Bertol *et al.*, 1997). Nesse sistema de preparo há maior gasto com combustíveis devido às operações de revolvimento, sendo que a necessidade do revolvimento anual é resultante da baixa persistência dos efeitos do revolvimento (Radford *et al.*, 2007; Berisso *et al.*, 2012).

Os efeitos de operações de revolvimento do solo como estratégia de remediação para a compactação, principalmente em áreas sob PD, têm sido estudados, e em geral conclui-se que a persistência desses efeitos é baixa com provável influência da resiliência do solo (Busscher *et al.*, 2002), o que demanda sucessivas operações ao longo do tempo. Tavares-Filho *et al.* (2006), verificaram que o aumento no fluxo de água pelo sistema poroso, efeito da subsolagem de um Latossolo sob PD não persistiu após um ano e concluíram que essa operação deve ser evitada a fim de diminuir os gastos do produtor. Há também relatos de que, sob PC ficam prejudicados a retenção de água e o crescimento de raízes de plantas em comparação com sistemas de preparo que priorizem o não revolvimento do solo (Araújo *et al.*, 2007).

Dessa maneira, os sistemas conservacionistas de preparo do solo trazem desafios e qualidades frente ao sistema de PC. O PD é um sistema conservacionista de preparo que têm como princípio o revolvimento mínimo do solo com deposição das sementes das

culturas na linha de semeadura por meio da abertura de sulcos com hastes sulcadoras ou discos de corte. A introdução desse sistema conservacionista no Brasil se deu no Paraná, em 1972, para atender a necessidade da agricultura em conservar o solo, conforme citam Casão Junior *et al.* (2012). Estes autores relatam que, nessa época, antes da introdução do PD, as perdas de solo no PR chegavam a atingir 10 t para cada tonelada de grãos produzidos. Além da manutenção dos estoques de carbono do solo, o PD, através da menor demanda por operações de revolvimento, proporciona menor gasto de combustível e outros custos envolvidos nestas operações, além de a emissão de CO₂ na atmosfera pela queima de combustíveis e aumentar a rentabilidade do produtor devido o menor custo de produção (Soane *et al.*, 2012).

Se por um lado o PD pode auxiliar na conservação do solo e água, o tráfego de maquinário e a ausência de revolvimento nesse sistema também influenciam nas condições físicas do solo. Geralmente, alguns indicadores de QFS são prejudicados, de modo que, sob PD, é normal a ocorrência de maiores valores de densidade do solo (Ds) (Hammel, 1989; Neto *et al.*, 2007; Veiga *et al.*, 2007) e resistência à penetração do solo (RP) (Ehlers *et al.*, 1983), em comparação com outros sistemas de preparo baseados no revolvimento das camadas compactadas. Há grandes divergências quanto aos efeitos da compactação do solo sobre a produtividade das culturas em PD, principalmente se considerados o tempo de adoção do PD, tipo de solo, clima, preparo das culturas e a condição estrutural do solo na implantação do PD (Ferrerias *et al.*, 2000). Essas discussões são intensificadas na medida em que tentamos introduzir a esse sistema culturas com “sistema radicular pouco agressivo”, como é o caso da cultura do algodoeiro. Neste contexto, alguns problemas relacionados à QFS sob PD geram dificuldades na adoção de práticas sustentáveis de manejo do solo, consideradas um desafio na cultura do algodoeiro (Sainju *et al.*, 2006).

É importante que as raízes sejam capazes de se desenvolver satisfatoriamente nas camadas mais profundas, já que assim há maior suprimento de água às plantas, devido ao maior volume de solo explorado. A existência de camadas que dificultem o desenvolvimento das raízes das plantas devido a menor QFS prejudica os sistemas produtivos. Gerard *et al.* (1982), explicam que, dentre os fatores que influenciam o crescimento radicular das plantas cultivadas, a compactação do solo é a mais notável, pois influencia no arranjo estrutural, a porosidade, o número e o tamanho de poros e a difusão gasosa. Isto acontece como resultado da menor exploração do solo pelas raízes, contendo o seu desenvolvimento em camadas menos profundas do solo. Müller *et al.* (2001),

avaliaram várias espécies vegetais e concluíram que a maior compactação do solo em subsuperfície prejudica o crescimento radicular, concentrando as raízes perto da superfície do solo. Beutler e Centurion (2004), relataram que o aumento da compactação do solo resulta em aumento da densidade, induzindo menor concentração de raízes nas camadas subsuperficiais e aumentando a concentração de raízes até a profundidade de 0,05 m. Por consequência, a menor exploração do solo pelas raízes diminui o aproveitamento da água disponível do solo.

2.2 Rotação de Culturas

Além da ausência de revolvimento, outros preceitos também são demandados pelo PD. A rotação de culturas (RC) é uma delas, e envolve o cultivo mais variado possível (Cassol *et al.*, 2008), de modo a intercalar o cultivo de gramíneas e leguminosas na mesma área. A utilização da RC em PD auxilia na manutenção da qualidade e da quantidade de resíduos vegetais, quando se compara à utilização do sistema convencional de cultivo, ou plantio convencional (PC). Tivet *et al.* (2013) propõem a utilização de PD de forma intensiva, com rotação de culturas apropriada e alto fornecimento de matéria vegetal, para a manutenção e aumento dos índices de carbono no solo em um Latossolo na região de cerrado. Wright *et al.* (2008), também relataram a importância da utilização de sistemas conservacionistas de preparo no aumento das reservas de C do solo em sistemas produtivos de algodão nos EUA, de modo a aumentar os estoques de carbono do solo, mesmo em um sistema produtivo que apresenta maior dificuldade na utilização de rotações, como o do algodoeiro. Além de influenciar diretamente nos estoques de carbono do solo via decomposição da matéria vegetal, alguns trabalhos apontam a eficiência de algumas culturas, especialmente as gramíneas, em melhorar a qualidade estrutural do solo via liberação de exsudatos radiculares, ou mucilagens (Oades, 1978; Silva e Mielniczuk, 1997; Salton *et al.*, 2008). Percebe-se que este preceito (RC) não é uma exigência somente do PD em solos tropicais, mas sim uma prática necessária no PD, independentemente de onde seja utilizado.

A utilização da RC, além de auxiliar nos estoques de C, também contribui para a manutenção da porosidade do solo. Mesmo apresentando maiores valores de Ds e menores valores de PT quando comparado a sistemas onde há revolvimento para o manejo da compactação, o PD ainda proporciona melhor conectividade e continuidade do sistema poroso (Ehlers *et al.*, 1983; Håkansson, 2005), resultante da intensa atividade de raízes e

da manutenção da estrutura do solo pela falta de revolvimento. Como exemplo disso, Cavalieri *et al.* (2009) relatam que, apesar dos indícios de compactação, como maior Ds e porosidade total (PT) baixa, o solo sob PD ainda demonstrou boa capacidade de transportar água e ar, indicando boa funcionalidade do sistema poroso. Tavares Filho e Tessier (2009), encontraram sob PD, bioporos e fissuras, enquanto o mesmo não aconteceu sob PC. Ehlers *et al.* (1983), relataram que, apesar de haver diferenças, a Ds pareceu ter pouca influência no desenvolvimento de raízes sob solos revolvidos e não revolvidos, e atribuiu a diferença obtida no desenvolvimento de raízes aos valores restritivos de RP, que sob PD são mais altos, devido a existência de rotas alternativas ao crescimento de raízes, oriundas de canais de raízes abandonados e atividade de minhocas e insetos. De modo geral, o PD melhora as propriedades do solo relacionadas ao transporte de água e gases, retenção de água, retenção de nutrientes e aumenta a ciclagem de carbono (Nakajima e Lal, 2014).

É importante mencionar que, além de simplesmente rotacionar as culturas na área, deve-se dar importância às potencialidades de cada uma dentro do sistema de manejo, já que existem estudos que demonstram os diferentes desenvolvimentos radiculares das culturas, bem como estudos relacionados às suas capacidades em contribuir com os estoques de carbono no solo. Por exemplo, Silva *et al.* (2006) estudaram os efeitos da compactação do solo em vasos e sua relação com o crescimento de plantas. Concluíram que, enquanto as plantas de algodoeiro foram as menos tolerantes à compactação, a braquiária apresentou maior tolerância a compactação, dentro da faixa de Ds estudada. Isto demonstra que em um sistema de produção aonde há foco na produção de fibra de algodão, a utilização das braquiárias pode proporcionar melhores condições de QFS pelo desenvolvimento radicular em zonas onde o algodoeiro apresenta dificuldade de crescimento.

Vários estudos apontam opções e benefícios da utilização de variadas culturas nos esquemas de cultivo. Andrade *et al.* (2009), concluíram que a utilização de gramíneas como culturas de cobertura favorecem a agregação do solo nas camadas mais superficiais, sendo que o cultivo de milho consorciado com braquiária proporcionou bons índices de QFS. Calonego *et al.* (2011), relataram vários estudos relacionados a efetividade do cultivo de braquiárias na melhoria e manutenção da QFS, bem como sua tolerância à compactação do solo e o crescimento de raízes nessas zonas adensadas. Andrade *et al.* (2009), relatam que, além do consórcio de milho com braquiária, a utilização do cultivo de crotalária e feijão guandú também influenciaram positivamente os indicadores de QFS.

Foloni *et al.* (2006), destacam a maior produção de bioporos, ou poros de maior diâmetro, oriundos da atividade biológica pela crotalária em relação ao feijão guandú em camadas com maiores indícios de compactação. Abreu *et al.* (2004), atribuíram a maior condutividade hidráulica saturada em um solo sob cultivo de crotalária em relação à escarificação antes do cultivo da de soja a qual estabeleceu poros verticais com maiores diâmetros. Dessa forma, é possível compreender as necessidades de cada sistema produtivo, de modo a adaptar os esquemas de cultivo em cada caso, utilizando as culturas que auxiliem na melhoria da qualidade do solo.

2.3 Indicadores de Qualidade Física do Solo

A densidade (D_s) é utilizada muito corriqueiramente em estudos da qualidade física do solo por apresentar fácil determinação (Ferreira *et al.*, 2015). A sua correlação com vários outros indicadores, em muitos casos, leva ao monitoramento da qualidade física do solo por meio do monitoramento da D_s . Apesar de várias exceções discutidas neste trabalho, a D_s é amplamente correlacionada com a estrutura do solo, e também se correlaciona com a porosidade do solo, já que a última pode ser determinada pela relação entre a D_s e a densidade das partículas do solo. Segundo Lal e Shukla (2004) a mudança no diâmetro de agregados influencia a D_s . Isso significa que há relação entre a estrutura do solo e a D_s . Silva *et al.* (1994) e Tormena *et al.* (1998) propuseram o monitoramento da QFS através do Least Limiting Water Range (LLWR), e posteriormente, do intervalo hídrico ótimo (IHO), a partir da determinação da resistência a penetração, da porosidade de aeração e da água disponível para um intervalo de valores de D_s , de modo que fosse possível estudar a QFS relacionada a qualidade estrutural, com base no monitoramento da D_s . Dessa forma, nota-se que a D_s , bem como dos índices de porosidade, desempenha grande importância no estudo da QFS.

Reynolds *et al.* (2002), propuseram várias medidas de porosidade, que podem ser utilizadas para distinguir o volume poroso de diferentes grupos de diâmetro de poros, de forma mais rápida e simples que a utilizada na obtenção da curva de retenção de água. A macroporosidade e a microporosidade passam a integrar um conjunto de medidores que contemplam o estudo do volume poroso responsável pela aeração e pela retenção de água em tensões iguais ou maiores que a CC, permitindo a comparação eficiente entre diferentes sistemas de preparo do solo.

Para estudar os efeitos dos sistemas de preparo e dos esquemas de cultivo na QFS se faz necessário o estudo de vários indicadores, a fim de obter uma visão abrangente do comportamento do solo frente à atividade de raízes, aos processos de agregação, retenção de água e funcionalidade do sistema poroso. A atividade de raízes, como já mencionado, influencia diretamente na porosidade do solo, principalmente na macroporosidade. Reynolds *et al.* (2002), mencionam que a porosidade no domínio dos macroporos foi maior em solo de mata em comparação ao mesmo solo sob PD e PC, e atribuiu este resultado ao maior teor de C do solo sob a mata, e no maior volume de poros resultantes de fissuras e de atividade de raízes e minhocas. Letey (1985), aponta a disponibilidade de água, a aeração, a resistência mecânica e a temperatura como propriedades físicas do solo que afetam diretamente o crescimento e desenvolvimento de plantas. Estas propriedades influenciam diretamente no comportamento de alguns indicadores de qualidade física do solo.

A permeabilidade do solo ao ar (K_a) é diretamente influenciada pela porosidade total e a porosidade de aeração, e é usada corriqueiramente para caracterizar mudanças na estrutura do solo (Tuli *et al.*, 2005), particularmente em relação ao tamanho e continuidade dos macroporos, justificando a sua utilização na estimativa do espaço poroso que contribui para a transmissão de ar e água no solo. Ball *et al.* (1997), relatam que o movimento de gases no solo depende mais fortemente da continuidade dos poros do que de qualquer outra propriedade. Sobre estas mudanças, influenciadas pela qualidade estrutural, discute-se os efeitos do preparo do solo (Ball e Hunter, 1988; Roseberg e McCoy, 1992). Em um estudo da influência do sistema de preparo e da drenagem no movimento de gases de um solo argiloso nos EUA, Nakajima e Lal (2014) observaram que o PD aumenta a taxa de difusão gasosa no solo. Todavia, essa influência só foi observada na camada mais superficial. Nesse estudo, correlacionando-se a esse resultado, a produtividade de milho também foi maior sob PD.

As alterações na QFS podem acontecer por motivos como: quebra dos agregados via ação mecânica, revolvimento do solo, perda de matéria orgânica, e por alterações químicas resultantes do uso de corretivos ou adubos (Albuquerque *et al.*, 2003). Assim como discutido, a adoção de sistemas conservacionistas de preparo influencia a qualidade estrutural do solo, como resultado de vários fatores, tais como aumento no teor de C (Reynolds *et al.*, 2002; Tivet *et al.*, 2013), principalmente na camada mais superficial, que resulta em melhor agregação das partículas sólidas do solo. A calagem e a adubação fosfatada são práticas corriqueiras na agricultura da região do cerrado. A aplicação desses

insumos, principalmente a calagem, também pode modificar o balanço de cargas no solo, causando alterações no comportamento dos coloides do solo (Albuquerque *et al.*, 2003), e por consequência, na estabilidade estrutural do solo e no grau de dispersão das argilas. A dispersão das argilas interfere na agregação que também está relacionada com o teor de matéria orgânica (Oades, 1988), teor e mineralogia da argila do solo (Arora e Coleman, 1979; Brubaker *et al.*, 1992) e pH (Gillman, 1974; Suarez *et al.*, 1984). Os atributos citados que se relacionam com a ARGD são influenciados pelo complexo de cargas do solo. Westerhof *et al.* (1999), encontraram resposta da dispersão de argila em função das variações de pH causadas pela aplicação de calcário, em um Latossolo vermelho-amarelo na região do cerrado. Dessa forma, o estudo do comportamento da dispersão de argila se mostra interessante na comparação da qualidade estrutural de um solo, em diferentes sistemas de preparo e esquemas de cultivo.

O suprimento de água e a aeração do solo influenciam diretamente na absorção de nutrientes e no crescimento de plantas (Marschner e Rimmington, 1996). Linh *et al.* (2015), estudaram os efeitos da rotação de culturas na qualidade física do solo, e na produtividade da cultura do arroz, no Vietnã, e concluíram que houve melhoria na qualidade física do solo, relacionada à expansão da zona de desenvolvimento radicular no solo, maior estabilidade de agregados, e teor de C no solo, e que essa melhoria foi acompanhada pela maior produtividade de arroz, com rotação de culturas. Todavia, a maioria dos estudos discute a QFS sem correlacioná-la com parâmetros agronômicos das culturas como a produção de matéria seca, a produção de raízes, e principalmente, os componentes de produção.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na safra 2008/2009 na Estação Experimental Cachoeira, pertencente ao Programa de Manejo e Adubação (PMA) da Fundação MT, com coordenadas geográficas 17° 09' S, 54° 45' W e 490 m de altitude acima do nível do mar. A região está sob o bioma Cerrado, cujo clima predominante, segundo classificação de Köppen, é o do tipo Aw de inverno seco. A precipitação anual média varia entre 1.200 e 1.800 mm e a temperatura média anual entre 22 e 23 °C. O solo da Estação Experimental é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (Embrapa, 2013). A Tabela 1 demonstra a classe textural e os teores de argila, silte e areia para as camadas de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m.

Tabela 1. Classe textural das camadas de 0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m de um Latossolo Vermelho distrófico localizado na estação experimental Cachoeira.

Camada (m)	Argila	Silte	Areia	Classe Textural
	g kg ⁻¹			
0,0-0,1	567	46	386	Argilosa
0,1-0,2	613	30	358	Muito Argilosa
0,2-0,4	724	22	254	Muito Argilosa

Foram realizadas amostragens sob as culturas da soja e do algodoeiro. Com isso, os dados climáticos relacionados com os valores de precipitação média diária e temperaturas do ar máximas e mínimas diárias para cada cultura são apresentados nas Figuras 3 e 4. Estes dados foram registrados pela estação meteorológica, modelo WatchDog™ serie 2000, localizada ao lado do experimento.

A área experimental esteve com cultivo de culturas anuais por 25 anos, sendo que no outono de 2008 o solo foi escarificado até a profundidade de 0,3 m e gradeado com grade niveladora à profundidade de 0,05 m para proporcionar o nivelamento do terreno. Após isso, antes do início da safra 2008/2009, efetuou-se novamente a operação de subsolagem com o uso de haste subsoladora operando a 0,4 m de profundidade. Em seguida, foi executada uma operação de gradagem com o uso de grade niveladora com discos de 0,8 m de diâmetro. Posteriormente, uma operação de nivelamento com o uso de grade niveladora foi realizada para a correção de imperfeições de nível na superfície do solo.

O experimento está implantado num delineamento em blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e quatro repetições. A parcela principal é constituída pelos sistemas de produção (SP) e as subparcelas por dois sistemas de preparo do solo, PC e PD. A parcela principal tem dimensões de 20 m de largura e 45 m de comprimento, totalizando área de 900 m², enquanto que a subparcela tem dimensões de 10 x 45 m, resultando em uma área de 450 m². Os tratamentos consistem em um esquema fatorial 6X2, com seis SP e dois sistemas de preparo do solo – PC e PD. O preparo convencional do solo é realizado após as primeiras chuvas da primavera e antes da eventual semeadura das plantas que serão instaladas, mediante o uso das grades aradoras e niveladora na parte correspondente à que recebe o tratamento com PC, conforme a subdivisão dos tratamentos. Dos seis SP citados por Kappes (2013), foram selecionados cinco, apresentados na Tabela 2, que quando relacionados aos sistemas de preparo do solo dão origem aos 10 tratamentos deste

estudo. Todos os SP são constituídos de um ciclo trianual de cultivo, de modo que ao fim do terceiro ano de cultivo, inicia-se o ciclo novamente.

Tabela 2. Sistemas de produção utilizados para a avaliação de sistemas de produção de fibra em diferentes esquemas de sucessão e rotação de culturas, no Estado de Mato Grosso¹. Estação Experimental Cachoeira, Itiquira – MT.

Sistemas de produção	Ano 1	Ano 2	Ano 3
SP1 ^a	Pousio / Algodão	Pousio / Algodão	Pousio / Algodão
SP2 ^b	Milheto / Algodão	Milheto / Algodão	Milheto / Algodão
SP3 ^c	Crotalária / Algodão	Milheto / Algodão	Soja / Milho safrinha + Braq.
SP4 ^d	Milheto / Algodão	Soja / Milho safrinha	Milheto / Algodão
SP5 ^e	Milheto / Algodão	Soja / Crotalária	Milho verão + Braquiária

¹Experimento conduzido com apoio financeiro do IMAmt.

^aMonocultivo de algodão sem cultura de cobertura do solo no inverno;

^bMilheto ADR-300, semeado na primavera;

^c*Crotalaria spectabilis* (safra 2011/2012) e *Crotalaria ochroleuca* (safra 2012/2013), semeadas na primavera; Milheto ADR-300, semeado na primavera, e Braquiária (*Urochloa ruziziensis*), semeada simultaneamente ao milho safrinha;

^dMilheto ADR-300, semeado na primavera;

^eMilheto ADR-300, semeado na primavera; *Crotalaria spectabilis* (safra 2011/2012) e *Crotalaria ochroleuca* (safra 2012/2013), semeadas na safrinha; e Braquiária (*Urochloa ruziziensis*), semeada simultaneamente ao milho verão.

O SP1 é constituído no monocultivo do algodoeiro, de forma que entre cada cultivo somente há o controle de plantas daninhas, sem a adição de cobertura vegetal alguma, denominado pousio. O SP2 é um esquema de sucessão de culturas, constituído pelo cultivo do algodoeiro, semelhante ao SP1, conjuntamente ao cultivo do milheto no período correspondente ao pousio do SP1. O SP3 é um esquema de rotação de culturas, que envolve, sequencialmente, a cultura da crotalária, algodoeiro, milheto, algodoeiro, soja e um consórcio de milho com a braquiária. Já o SP4, que também é um esquema de rotação de culturas, apresenta conformação semelhante ao SP2, sendo que o cultivo do algodoeiro é feito posteriormente ao milheto por 2 anos consecutivos, e no terceiro ano, é feito o cultivo da soja e do milho. O SP5 é o esquema de rotação mais complexo entre os três, já que envolve o cultivo de 6 culturas ao longo dos anos (milheto, algodoeiro, soja, crotalária e milho consorciado com braquiária). Este SP é o único em que a cultura do milho é utilizada na safra principal, ou safra de verão, sendo que nos outros SP esta

cultura é cultivada na segunda safra. É importante ressaltar também, que após a colheita do milho no SP 5, a braquiária permanece instalada até que seja feita a semeadura do milho, na primavera da seguinte safra.

As parcelas experimentais são constituídas de 22 linhas espaçadas em 0,9 m entre si para a cultura do algodoeiro, e de 44 linhas, espaçadas em 0,45 m entre si para as culturas da soja e do milho.

A semeadura das culturas de cobertura (milheto, braquiária e crotalaria) é realizada na primavera de cada safra, com semeadura manual e a lanço, seguida da incorporação utilizando um equipamento do tipo “correntão”. A aplicação de corretivos, fertilizantes, defensivos agrícolas e inoculantes realizou-se seguindo as recomendações para cada cultura.

Para o estudo, amostras de solo indeformadas foram coletadas nas camadas de 0,0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m entre os dias 5 e 10 de fevereiro de 2015, no sétimo ano após a implantação do experimento, fora da área das parcelas onde são realizadas as amostragens referentes à produtividade das culturas. As amostras foram colhidas no centro da entrelinha das culturas do algodoeiro e da soja. Na época da amostragem, os SP1, SP2 e SP3 estavam sob cultivo do algodoeiro (cultivar TMG 81 WS), sendo que a semeadura dessa cultura ocorreu no dia 18 de dezembro de 2014. Nos SP4 e SP5, a cultura instalada era a soja (cultivar TMG 7262 RR), cuja semeadura foi realizada em 10 de novembro de 2014.

Após a retirada, as amostras foram envoltas em plástico PVC e papel alumínio, para evitar a perda de água durante o seu transporte. Após isto, as amostras permaneceram sob a refrigeração (± 5 °C), para inibir eventos que modificam a estrutura do solo, como a germinação de sementes ou a atividade de insetos ou minhocas, até a sua preparação para as análises no laboratório de física do solo do Departamento de Agronomia da UEM. O preparo das amostras consistiu na retirada do excesso de solo das extremidades de cada cilindro, de modo que o volume do solo fosse equivalente ao volume do cilindro. Em seguida, essas amostras foram saturadas durante 48 h, por meio da elevação gradual de uma lâmina de água numa bandeja, até atingir cerca de dois terços da altura das amostras.

Após saturação, as amostras foram pesadas e submetidas às tensões de 1; 6 e 10 kPa utilizando uma mesa de tensão (Ball e Hunter, 1988). Logo após a pesagem da amostra submetida à tensão de 10 kPa, foi realizada a determinação K_a , estimada conforme metodologia de carga constante descrita por Ball & Schojønning (2002). Na determinação de K_a utilizou-se um controlador de vazão mássica para fixar os valores de

4 e de 8 mL min⁻¹ de ar para fluir dentro cada amostra, além de um manômetro de pressão diferencial (resolução: 0,1 Pa) para identificação das diferenças de pressão, modificada em função da estrutura do solo. A Ka foi calculada conforme a equação 1.

$$Ka = \left(\frac{Q \eta}{A_s} \left(\frac{z}{P} \right) \right) 10^6 \quad (1)$$

Onde: Q é a vazão mássica (m³ s⁻¹), η é a viscosidade do ar a 24°C (1.84×10E⁻⁵ N s/m²), A_s é a área perpendicular ao movimento do ar (m²), z é a altura da coluna de solo (m) e P é a pressão diferencial do ar (Pa).

Após a determinação da Ka, as amostras foram levadas para estufa a 105°C por 24 horas e transferidas para dessecadores e em seguida foram pesadas. A partir da massa do solo seco e do volume de cada cilindro, a D_s (Mg m⁻³) foi calculada por meio da equação 2, conforme Grossman e Reinsch (2002).

$$D_s = \frac{M_{ss}}{V} \quad (2)$$

Em que M_{ss} é a massa de solo seco (Mg) e V é o volume da amostra indeformada (m³).

A Porosidade total do solo (PT) foi obtida através da equação 3, em que PT é igual ao teor de água do solo na saturação, calculado pela diferença entre a massa saturada do solo e a massa de solo seco em estufa a 105° C, conforme (Claessen *et al.*, 1997).

$$PT = \frac{(\mu - m_s)}{\rho V} \quad (3)$$

Em que, PT = porosidade total por saturação (m³ m⁻³); μ = massa de solo saturada (kg kg⁻¹); m_s = massa de solo seco (kg); ρ = massa específica da água à temperatura ambiente; V = volume total da amostra (m³).

A capacidade de campo (CC) ou teor de água do solo após equilíbrio na tensão de 10 kPa (Reichardt, 1988), foi determinada como o teor volumétrico de água do solo após equilíbrio com a tensão de 10 kPa (Equação 4).

$$CC = \frac{(\mu - m_s)}{\rho V} \quad (4)$$

Em que, CC = Capacidade de campo (m³ m⁻³); μ = massa de solo úmido equilibrado à tensão de 10 kPa (kg); m_s = massa de solo seco (kg); ρ = massa específica da água à temperatura ambiente; V = volume total do cilindro (m³).

Os indicadores abaixo descritos foram obtidos conforme Reynolds *et al.* (2002).

- a) porosidade no domínio dos macroporos do solo (POMAC) obtido pelo teor de água do solo saturado (PT) subtraído do teor de água na tensão de 1 kPa;
- b) porosidade no domínio da matriz do solo (POMAT) obtido pelo teor de água na tensão de 1 kPa;
- c) capacidade de aeração do solo (CATSOLO) obtido pelo teor de água na saturação subtraído do teor de água na tensão de 10 kPa;
- d) capacidade de aeração no domínio da matriz do solo (CAMAT) obtido pelo teor de água na tensão de 1 kPa subtraído do teor de água na tensão de 10 kPa;
- e) balanço ótimo entre a capacidade de retenção de água e aeração e definido pela razão CC/PT (adimensional), sendo o valor considerado ideal de 0,66.

Na Figura 1, os indicadores propostos por Reynolds *et al.* (2002), ou índices de Reynolds, são demonstrados de forma a compreender melhor qual a abrangência de cada um dentro dos limites da porosidade total do solo.

A determinação do índice de continuidade de poros (K1) foi realizada dividindo-se o valor obtido para a K_a pela capacidade de aeração total do solo (CATSOLO), conforme descrito por Groenevelt *et al.* (1984).

Quando todos os capulhos das plantas estavam abertos foi realizada a determinação do rendimento de algodão em caroço (RAC). Para este fim, foi tomada uma amostra por parcela experimental, de modo que esta amostra é resultante da colheita de sete linhas de 5,0 m de comprimento (31,5 m²), de modo que os resultados foram transformados para a unidade Kg ha⁻¹, sendo que as amostras tiveram umidade padronizada a 6% em base úmida. Já a determinação da produtividade da soja foi tomada por uma amostra por parcela, a partir da colheita dos grãos de 14 linhas da cultura com 5,0 m de comprimento (31,5 m²). Assim, a produtividade de soja foi obtida a partir da trilha mecânica e pesagem dos grãos oriundos das plantas colhidas nessa área no centro das parcelas, a qual foi convertida para kg ha⁻¹ e corrigida para 13% de umidade em base úmida.

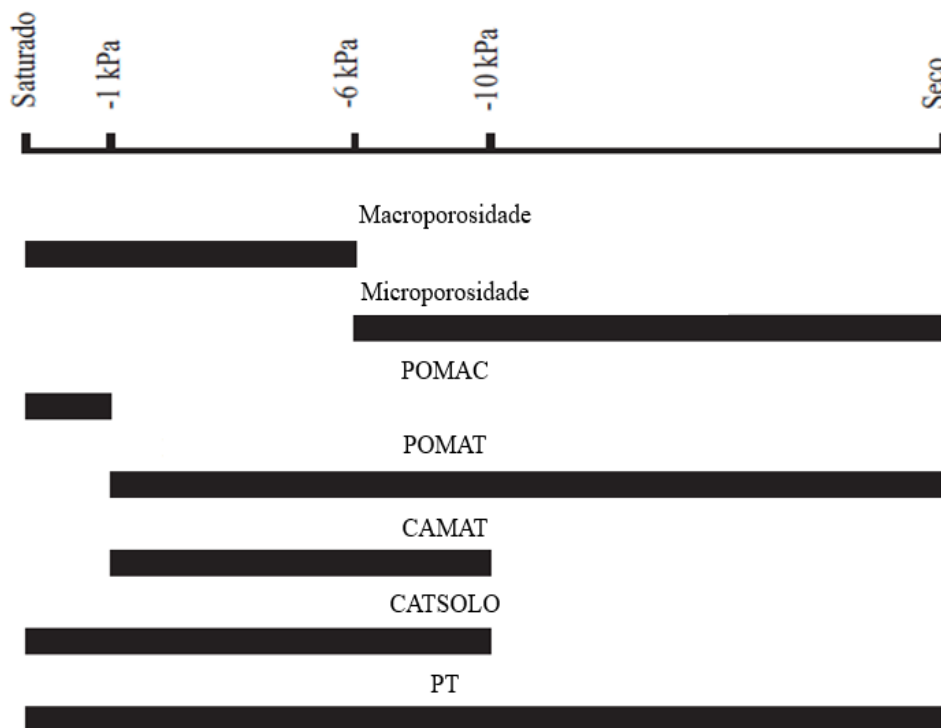


Figura 1. Indicadores de qualidade física do solo, relativos à porosidade entre o solo saturado e seco: os tradicionais- macroporosidade, microporosidade e porosidade total (PT) e os propostos por Reynolds et al. (2002). Fonte: Fidalski et al. (2008).

A produtividade relativa (PRODR) foi obtida tomando-se as produtividades máximas de soja e algodão como sendo 100%. As demais produtividades obtidas para cada parcela foram relativas à estas produtividades, para cada cultura estudada.

A análise estatística foi realizada assim como descrevem Banzatto e Kronka (2006), para um delineamento em blocos casualizados com parcelas subdivididas ($p < 0,05$). A comparação de médias foi realizada utilizando-se o teste de Tukey ($p < 0,05$). Cada profundidade de coleta (0,0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,4 m) foi estatisticamente analisada em separado. Foi também realizada a análise de correlação entre os indicadores de QFS medidos e as produtividades da soja e do algodoeiro pelo procedimento PROC CORR do software SAS (Institute, 1990).

Em anexo, ao final deste trabalho, as médias, valores máximos e mínimos, desvios padrão das médias, bem como a probabilidade mínima para significância do teste de Shapiro Wilk de todas as variáveis para todos os tratamentos estudados estão apresentados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades físicas do solo

Na tabela 3 estão apresentados os resumos dos quadros de análise de variância das variáveis que tiveram algum fator de variação significativo para a camada de 0,0-0,1 m.

Tabela 3. Resumo da análise de variância de algumas variáveis significativas para a camada de 0,0-0,1 m de um Latossolo vermelho distrófico sob dois sistemas de preparo (M) e diferentes sistemas de produção (SP) em Itiquira-MT.

Variável	FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Ka (μm^2)	M	1	367.5942	367.5942	783.2120	0.0001
K1 (adimensional)	M	1	3663.0783	3663.0783	81.8180	0.0029
Ds (Mg m^{-3})	M	1	0.2254	0.2254	334.5470	0.0004
CC ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	M	1	0.0281	0.0281	177.1640	0.0009
POMAC ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	M*SP	4	0.0002	<0.0001	3.0960	0.0345
	M/SP3	1	0.0002	0.0002	12.1630	0.0019
	SP/PC	4	0.0002	0.0001	3.6410	0.0184
POMAT ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	M*SP	4	0.0042	0.0011	2.8480	0.0460
	M/SP2	1	0.0023	0.0023	6.8050	0.0146
	M/SP3	1	0.0071	0.0071	20.7830	0.0001
	M/SP4	1	0.0100	0.0100	29.1900	<0.0001
	M/SP5	1	0.0049	0.0049	14.2730	0.0008
	SP/PC	4	0.0034	0.0009	2.2850	0.0890
	SP/PD	4	0.0040	0.0010	2.6860	0.0551
CATSOLO ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	M	1	0.1028	0.1028	280.8920	0.0005
CAMAT ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	M	1	0.0895	0.0895	97.0320	0.0022
CC/PT (adimensional)	M	1	0.2536	0.2536	423.2920	0.0003

FV= fator de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; Fc= Valor de F calculado; Pr>Fc= probabilidade mínima para ser significativo; Ds= densidade do solo; CC= capacidade de campo; Ka= permeabilidade do solo ao ar; K1= índice de continuidade de poros; POMAC= porosidade no domínio dos macroporos; POMAT= porosidade no domínio da matriz do solo; CATSOLO= capacidade de aeração total do solo; CAMAT= capacidade de aeração da matriz do solo; CC/PT= Relação entre a capacidade de campo e a porosidade total.

Nas Tabelas 4, 5 e 6 estão apresentados os valores médios dos indicadores de QFS da camada de 0-0,1 m que foram significativamente influenciados pelos tratamentos.

Os indicadores Ds, CC, Ka, K1, CATSOLO, CAMAT e CC/PT (Tabela 4) foram influenciados pelos efeitos de preparo (M). Os valores médios de Ds, CC e CC/PT foram significativamente maiores em PD, quando comparados com o PC ($p \leq 0,05$), enquanto que PT, Ka, K1, CATSOLO e CAMAT foram superiores no PC. Os indicadores POMAC e POMAT apresentaram interação entre os sistemas de preparo e sistemas de produção.

Para esta camada, nenhum indicador foi influenciado pelos sistemas de produção. Conforme apresentado na Tabela 5, para a POMAC, somente houve efeito de M quando sob o SP3, e os efeitos de SP somente foram significantes sob o PC.

Tabela 4. Atributos de QFS sob PD e PC na camada de 0,0-0,1 m de um LATOSSOLO Vermelho distrófico em Itiquira-MT.

Indicador	PC	PD
Ds (Mg m⁻³)	1,061 b	1,211 a
CC (m³ m⁻³)	0,363 b	0,416 a
Ka (µm²)	8,572 a	2,509 b
K1 (Adimensional)	38,063 a	18,924b
CAMAT (m³ m⁻³)	0,184 a	0,089 b
CATSOLO (m³ m⁻³)	0,210 a	0,109 b
CC/PT (Adimensional)	0,635 b	0,794 a

Ds= densidade do solo; CC= capacidade de campo; Ka= permeabilidade do solo ao ar; K1= índice de continuidade de poros; CATSOLO= capacidade de aeração total do solo; CAMAT= capacidade de aeração da matriz do solo; CC/PT= Relação entre a capacidade de campo e a porosidade total. Letras minúsculas iguais na linha indicam ausência diferença estatística pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Tabela 5. Porosidade no domínio dos macroporos (POMAC, m³ m⁻³) na camada de 0,0-0,1 m em sistemas de produção de um LATOSSOLO Vermelho distrófico, sob PD e PC, em Itiquira-MT.

M	Sistemas de produção				
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
PC	0,018 bA	0,019 bA	0,027 aA	0,021 abA	0,023 abA
PD	0,018 aA	0,019 aA	0,017 aB	0,019 aA	0,016 aA

Letras minúsculas iguais na linha e letras maiúsculas iguais na coluna indicam ausência de diferença estatística pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Já para a POMAT (Tabela 6) a análise de variância indicou diferença entre os efeitos dos diferentes sistemas de preparo quando sob os SP2, SP3, SP4 e SP5, e também indicou efeito diferenciado dos SP sob PD e sob PC. Os resultados obtidos pelo teste de Tukey (p≤0,05) para estas comparações estão apresentados na Tabela 5. Para a POMAC, o PD apresentou média menor que o PC enquanto que para os sistemas de preparo o menor valor foi verificado em EC3. Quando sob PC, houve diferença estatística somente entre o SP3 e os SP1 e SP2, de modo que o SP1 e o SP2 não diferiram entre si, mas foram inferiores ao SP3, que apresentou maior POMAC (Tabela 4).

Tabela 6. Porosidade no domínio da matriz do solo (POMAT, em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), na camada de 0,0-0,1 m em sistemas de produção de um LATOSSOLO Vermelho distrófico, sob PD e PC, em Itiquira-MT.

M	Sistemas de produção				
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
PC	0,533 aA	0,554 aA	0,570 aA	0,558 aA	0,541 aA
PD	0,521 aA	0,520 aB	0,510 aB	0,488 aB	0,492 aB

Letras minúsculas iguais na linha e letras maiúsculas iguais na coluna indicam ausência diferença estatística pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Apesar da POMAT ter mostrado significância na análise de variância para a interação entre M e SP, o PC sempre apresentou média superior ao PD nos SP2, SP3, SP4 e SP5. Da mesma forma, não ocorreram diferenças na POMAT quando foram analisados os dois sistemas de preparo em cada SP.

A CATSOLO e a CAMAT estão relacionadas ao suprimento de ar às raízes (Reynolds *et al.*, 2002) e são provenientes do volume de poros que são drenados até a tensão de 10 kPa, e entre a tensão de 10 kPa e 1 kPa, respectivamente. Levando em conta que os valores mínimos relativos à ocupação do espaço poroso do solo pelo ar devem variar entre 0,10-0,15 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (Cockroft e Olsson, 1997; Topp *et al.*, 1997), entende-se que a CAMAT expressou baixa capacidade do solo em suprir a necessidade de ar às plantas na camada de 0,0-0,1 m do PD. Por outro lado, a CATSOLO demonstrou médias acima dos 0,1 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ para ambos os sistemas de preparo. Todavia, a média de CATSOLO sob PC foi 92% maior que a encontrada sob PD, que por sinal foi próxima ao limite mínimo. Estas variáveis podem ser correlacionadas com os poros resultantes da atividade de raízes e da fauna do solo, já que macroporos interconectados, em geral, podem ser utilizados para o crescimento de raízes e atividade biológica. (Ehlers *et al.*, 1983; Sutton, 1991). Reynolds *et al.* (2002), também encontraram maior volume de macroporos em solos sob a mata em comparação àqueles sob o cultivo, atribuindo esta constatação ao maior volume de raízes e estoque de carbono do solo sob a mata. A Ka indica a capacidade do sistema poroso do solo em conduzir ar (Dörner e Horn, 2006), e nesse caso, é dependente da porosidade de aeração, ou da CATSOLO, já que a Ka foi medida enquanto o solo estava submetido à tensão de 10 kPa. Com base nesse cenário, conclui-se que o PC favoreceu a macroporosidade na camada de 0,0-0,1 m, acarretando o maior macroporosidade, e melhores condições para a movimentação do ar no solo, expresso pela maior média de Ka.

A condução de gases pelo sistema poroso do solo é dependente da conectividade dos poros, conforme citam Ball *et al.* (1997). De fato, estes autores indicam que esta propriedade exerce maior influência no fluxo de gases que qualquer outra. Como resultado da maior macroporosidade, a continuidade e conectividade dos poros também foram maiores sob PC, e expressadas pelo maior valor de K1. Apesar de haver referências na literatura à maior conectividade e menor tortuosidade do sistema poroso de solos sob PD, quando comparado a sistemas de manejo não conservacionistas do solo (Ehlers *et al.*, 1983; Håkansson, 2005; Cavalieri *et al.*, 2009), ressalta-se que o revolvimento anual, nesse caso, provavelmente foi intenso o suficiente para manter e/ou restaurar as condições do sistema poroso sob PC encontradas nesse estudo, e dessa forma, contribuiu para os maiores valores de K1 sob PC (Tabela 4).

A variável CC/PT demonstrou que o PC teve média inferior ao PD (Tabela 4). Todavia, o valor considerado ideal para esta variável é 0,66 (Reynolds *et al.*, 2002), já que esta variável expressa a relação entre o conteúdo de água na capacidade de campo e a porosidade total. Valores de CC/PT acima de 0,66 indicam baixa aeração do solo, pela ocupação excessiva da porosidade com água na CC, influenciando negativamente na respiração microbial e das raízes. Por isso, é possível dizer que o PC apresenta maior aeração na CC, já que a média de CC/PT para esta variável foi inferior a 0,66, o que indica que, na CC, há predominância da ocupação do espaço poroso do solo com ar. Por outro lado, estes resultados demonstram maior eficiência do PD em armazenar água, já que a média da CC/PT nesse caso foi superior a 0,66. Isso indica que, na CC, há predominância da ocupação do espaço poroso do solo com água.

O comportamento da variável CC/PT demonstra que, diante de um cenário agrícola onde não há déficit hídrico, o PC apresenta condições de QFS mais desejáveis, já que pode haver limitações de aeração na capacidade de campo sob PD. Por outro lado, em situações onde há déficit hídrico conclui-se que o PD mantém aspectos físicos do solo mais propícios para o desenvolvimento das culturas. Em áreas sob preparo convencional em que não há irrigação e o aporte de água ao solo é feito exclusivamente pelas chuvas, é desejável que o solo seja mais capaz de fornecer água às plantas.

Os resultados obtidos para a Ds (Tabela 4) concordam com o comportamento descrito pela literatura que relaciona menores Ds em sistemas de preparo aonde há revolvimento, como resultado de aumento no volume de poros do solo (Stone e Silveira, 2001; Cavalieri *et al.*, 2009). Bauder *et al.* (1981), relataram que diferentes sistemas de preparo do solo influenciam os valores de resistência à penetração de raízes no solo. Da

mesma forma, Kumar *et al.* (2012) relataram que os valores de resistência à penetração de raízes no solo são maiores sob PD, especialmente nas camadas mais superficiais. Busscher *et al.* (1997), explica que há interferência dos valores de Ds, bem como os de conteúdo de água no solo, nos valores de resistência à penetração de raízes no solo. Por isso, pode-se entender que o comportamento encontrado para a Ds na camada de 0,0-0,1 m deste trabalho demonstra que o PD proporciona condições mais restritivas ao crescimento de raízes na camada mais superficial amostrada, já que este sistema de preparo apresentou maior Ds em relação ao PC. Dessa forma, os menores valores de Ds podem ser correlacionados com melhores condições de desenvolvimento radicular. A restrição ao desenvolvimento radicular, resultante de altos valores de Ds está geralmente ligada ao fato de que a resistência do solo à penetração de raízes se torna maior, impactando diretamente no desenvolvimento de plantas, já que a área explorada pelo sistema radicular é menor. A maior Ka sob PC (Tabela 4), também é um indicativo que houve maior macroporosidade sob PC, já que um maior volume poroso influencia na melhor condução de gases no solo.

Alguns trabalhos demonstram que sob PD, há uma QFS reduzida fora da linha de cultivo das plantas, ou linha de semeadura, que pode ocasionar o confinamento do sistema radicular das culturas na camada superficial do solo, dentro do volume revolvido pela operação de semeadura (Betioli Júnior *et al.*, 2012; Betioli Junior *et al.*, 2014b). Em contrapartida é notável que o PD apresente maior habilidade em armazenar água na camada de 0,0-0,1 m, opondo-se aos benefícios da macroporosidade do PC. O armazenamento de água, mesmo que somente na camada superficial, pode influenciar positivamente o desenvolvimento de plantas em situações de pouca precipitação pluvial. Em um sistema de preparo onde pode haver concentração de raízes das culturas na camada superficial a maior retenção de água nessa camada pode garantir uma menor restrição ao desenvolvimento de plantas, mesmo que haja limitação ao crescimento radicular nas camadas mais profundas.

A POMAC demonstra que há diferença entre os sistemas de preparo (PD e PC) no SP3, com média significativamente maior sob PC (Tabela 5). É interessante notar que o SP3, conjuntamente ao SP5, possui a maior diversificação de culturas dentre os SP. A POMAC pode ser correlacionada com a macroporosidade, já que expressa volume poroso compreendido pelos maiores poros que retém água até a tensão de 1 kPa. Já que também representa parte do volume poroso correspondente aos macroporos, assim como a CATSOLO e a CAMAT, a POMAC também depende da atividade de raízes e da biota

do solo, responsáveis pela criação de poros de maior diâmetro, pelas rachaduras e pelas fendas. (Ehlers *et al.*, 1983; Sutton, 1991), de modo que uma maior variedade morfológica de raízes se torna muito desejável nesse sistema. De acordo com Reynolds *et al.* (2008), não há um consenso estabelecido para utilização de valores ótimos para a POMAC, entretanto, esta propriedade fornece uma visão importante da capacidade de infiltração e aeração do solo logo após a saturação. Nesse caso, pode-se relacionar esta variável ao manejo de culturas (Reynolds *et al.*, 2002; Fidalski *et al.*, 2007) e ao revolvimento do solo. Por isso, estes resultados também indicam, de forma condizente aos outros indicadores, que além de maior volume de poros de maior diâmetro, a entrelinha do PC apresenta menores restrições para o crescimento e desenvolvimento de raízes quando comparada a entrelinha do PD.

As diferenças estatísticas da POMAC entre os SP também só ocorreram quando sob PC, sendo que os SP1 e SP2 não diferiram significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), mas foram diferentes e inferiores ao SP3. Dá-se ênfase ao fato de que as diferenças entre os SP, nesse caso, ocorreram somente sob PC, que também demonstra maiores valores de POMAC sob o SP3. Assim, também pode-se relacionar os maiores valores de POMAC no SP3 à maior produção de matéria vegetal, que pode resultar em maior acúmulo de carbono na camada mais superficial devido à maior deposição de resíduos vegetais nessa região (Costa *et al.*, 2015), e também à produção de raízes de morfologias diferenciadas, resultantes da rotação de culturas. A maior produção de matéria seca, ou biomassa, têm relação direta com o acúmulo de carbono no solo. Siqueira Neto *et al.* (2009), relataram que em um PD sob a sucessão de culturas com alta produção de matéria vegetal, envolvendo o milho e o trigo, foram observados os teores elevados de C nas camadas 0,0-0,025 e 0,025-0,05 m, e que isso ocorreu devido à alta quantidade de resíduos culturais aportados pelo milho. Tivet *et al.* (2013), também relataram a dependência do acúmulo de carbono na camada mais superficial de um Latossolo em Lucas do Rio verde – MT com a utilização de esquemas de rotação com várias culturas e alto aporte de biomassa. Reynolds *et al.* (2002), encontraram maior POMAC em diferentes classes texturais de solos canadenses sob a floresta nativa, com maiores teores de C quando comparados ao sistema de plantio direto e convencional. Por outro lado, no mesmo estudo, os autores encontraram maior POMAC sob PD, em detrimento do PC, o que não aconteceu neste estudo.

Para o SP1, não há diferença entre as médias de POMAT sob PC e PD (Tabela 6). Nos outros SP, a POMAT sempre teve maior média sob PC, o que contribui para a

hipótese de que há maior macroporosidade sob PC. No entanto, essa variável não demonstrou diferença estatística entre os diferentes SP dentro de cada sistema de preparo do solo. Nota-se, então, que os diferentes SP parecem exercer maior influência sobre os poros de maior diâmetro da macroporosidade, assim como demonstrado pelas comparações da variável POMAC. Já que a atividade de raízes e outros fatores inerentes aos diferentes SP não exercem maiores contribuições para a POMAT, pode-se dizer que a contribuição do PC para a macroporosidade é proveniente do revolvimento anual. Josa *et al.* (2010), em um cambissolo da Espanha, também notaram maior macroporosidade quando o solo foi revolvido, de modo que encontraram o dobro do volume de macroporos na região revolvida em comparação com a região não revolvida.

De maneira geral, na camada de 0,0-0,1 m, o solo sob PC apresentou indicativos de maior macroporosidade, enquanto o solo sob PD apresentou indicativos de maior microporosidade, resultando em maior retenção de água na CC e maior CC/PT. O revolvimento do solo é responsável por um aumento da porosidade, principalmente no âmbito dos macroporos e em curto prazo, mas influencia negativamente na manutenção dos estoques de carbono, na estruturação do solo e diminui a retenção de água (Bronick e Lal, 2005; Lal *et al.*, 2007; Crittenden *et al.*, 2015). Isto pode explicar o fato de que houve maior volume poroso relacionado ao suprimento e movimento de ar no solo sob PC, enquanto a CC e a CC/PT foram maiores sob PD, permitindo a discussão da eficiência do PC em manter a qualidade estrutural do solo frente a ausência de revolvimento no PD na camada mais superficial.

Na Tabela 7 estão apresentados os resumos dos quadros de análise de variância das variáveis que tiveram algum fator de variação significativo para a camada de 0,1-0,2 m.

Na camada de 0,1-0,2 m a POMAT foi a única variável influenciada pelo efeito de tratamentos. Estes resultados estão apresentados na Tabela 8. Houve interação entre SP e M para a POMAT de modo que somente houve diferença estatística entre os sistemas de preparo dentro dos SP4 e SP5. Dessa forma, na camada de 0,1-0,2 m, PD apresentou maiores valores, médios de POMAT.

Tabela 7. Resumo da análise de variância da única variável significativa (POMAT) para a camada de 0,1-0,2 m de um Latossolo vermelho distrófico sob dois sistemas de preparo (M) e diferentes sistemas de produção (SP) em Itiquira-MT

Variável	FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
POMAT (m ³ m ⁻³)	M*SP	4	0.0033	0.0008	4.4980	0.0075
	M/SP4	1	0.0017	0.0017	5.1560	0.0493
	M/SP5	1	0.0064	0.0064	19.8250	0.0016

FV= fator de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; Fc= Valor de F calculado; Pr>Fc= probabilidade mínima para ser significativo; POMAT= porosidade no domínio da matriz do solo.

A maior média de POMAT sob PD, tanto no SP4 quanto no SP5, demonstra uma inversão nos aspectos da qualidade física do solo encontrada na camada de 0,0-0,1 m que apresentou, sob PC, maiores valores de indicadores relacionados à macroporosidade. A maior POMAT sob PD indica que o efeito da desestruturação nas propriedades do sistema poroso do solo, provenientes das operações de revolvimento no PC, encontradas na camada de 0,0-0,1 m não persistiram na camada de 0,1-0,2 m. A POMAT expressa o volume poroso que é drenado quando o solo é submetido a tensões acima de 1kPa, excluindo de sua abrangência os poros da maior classe medida: os que são drenados até quando o solo é submetido a tensão de 1kPa.

Tabela 8. Porosidade no domínio da matriz do solo (POMAT) na camada de 0,1-0,2 m de um LATOSSOLO Vermelho distrófico sob PD e PC em Itiquira-MT.

M	POMAT				
	m ³ m ⁻³				
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5
PC	0.49 A	0.50 A	0.50 A	0.48 B	0.47 B
PD	0.52 A	0.52 A	0.50 A	0.51 A	0.53 A

Letras diferentes dentro da mesma coluna indicam diferença estatística pela análise de variância (p≤0,05).

O comportamento da POMAT indica que na camada de 0,1-0,2 m pode estar prevalecendo o efeito da maior qualidade estrutural do solo sob PD, que pareceu estar presente na camada de 0,0-0,1, contraposta à maior macroporosidade causada pelo revolvimento no PC. Por isso, da mesma forma que na camada de 0,0-0,1 m, ainda parece haver o efeito da melhor estrutura do solo sob PD no volume de poros responsáveis pela retenção de água na camada de 0,1-0,2 m, o que pode influenciar positivamente no suprimento de água às plantas em áreas aonde ocorre stress hídrico. Vários autores

relatam que, sob PD, o efeito da compactação é visível nas camadas mais superficiais (Hammel, 1989; Mahboubi *et al.*, 1993; Veiga *et al.*, 2007). Os maiores valores de POMAT sob PD indicam que, além de maior volume poroso, também pode haver melhor suprimento de água às plantas nessa profundidade, já que esta engloba o volume de microporos do solo.

Na Tabela 9 estão apresentados os resumos dos quadros de análise de variância das variáveis que tiveram algum fator de variação significativo para a camada de 0,2-0,4 m.

Na camada de 0,2-0,4 m (P3), os indicadores de QFS que sofreram efeito dos tratamentos foram a CC, POMAT e K1 (Tabela 10). Todos estes atributos foram influenciados pelos sistemas de preparo, de modo que PT, CC e POMAT foram estatisticamente superiores no PC em comparação com o PD. Contrariamente aos outros indicadores, o atributo relacionado a continuidade dos poros do solo (K1) apresentou maior valor médio em PD comparado com o PC. A variável CC/PT não foi significativa para nenhum tratamento dessa camada.

O comportamento da POMAT na camada de 0,2-0,4 m pode indicar um maior volume de poros responsáveis pela retenção água acima da tensão de 1 kPa, situados no domínio dos poros de menor diâmetro. Essa afirmação é corroborada pela média da variável CC, que demonstra maior volume de poros responsáveis pela retenção de água na CC.

Tabela 9. Resumo da análise de variância de algumas variáveis significativas para a camada de 0,2-0,4 m de um Latossolo vermelho distrófico sob dois sistemas de preparo (M) em Itiquira-MT

Variável	FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
K1 (adimensional)	M	1	189.138	189.138	11.805	0.0414
CC (m³ m⁻³)	M	1	0.000224	0.000224	19.191	0.022
POMAT (m³ m⁻³)	M	1	0.000878	0.000878	22.863	0.0174

FV= fator de variação; GL= graus de liberdade; SQ= soma de quadrados; QM= quadrado médio; Fc= Valor de F calculado; Pr>Fc= probabilidade mínima para ser significativo; CC= capacidade de campo; K1= índice de continuidade de poros; POMAT= porosidade no domínio da matriz do solo.

Tabela 10. Capacidade de campo (CC), porosidade no domínio da matriz do solo (POMAT) e índice de continuidade de poros (K1) na camada de 0,2-0,4 m de um LATOSSOLO Vermelho distrófico sob PD e PC em Itiquira-MT.

M	Indicadores		
	CC (m ³ m ⁻³)	POMAT (m ³ m ⁻³)	K1
PC	0,365 a	0,490 a	19,561 b
PD	0,360 b	0,481 b	23,910 a

Letras diferentes dentro da mesma coluna indicam diferença estatística pela análise de variância ($p \leq 0,05$).

O K1 demonstrou que, apesar de maior volume poroso, há menor continuidade de poros sob PC. Esta informação também contribui para a discussão de que o maior volume poroso sob PC pode não ser resultante de maior volume de macroporos já que o K1 é resultante da divisão dos valores obtidos para a variável Ka pelos valores de porosidade de aeração do solo. A Ka também foi medida quando aplicada a tensão de 10 kPa ao solo, e por isso, pode-se dizer que a maior umidade do solo na capacidade de campo influencia diretamente os valores de Ka (Ball e Schjønning, 2002), que por sua vez, resulta em menores valores de K1. Isto se dá pelo fato de que a maior umidade do solo pode ter influenciado na menor continuidade do sistema poroso, já que a maior umidade pode ter resultado em maior dificuldade para a condução de ar. Ball *et al.* (1997) citaram a importância da continuidade dos poros para o movimento de gases pelo solo, indicando que esta propriedade exerce maior influência no fluxo de gases que qualquer outra. Além da redução na macroporosidade, Mossadeghi-Björklund *et al.* (2016) também encontraram redução na continuidade de poros em um solo submetido a compactação por tráfego. Betioli Junior *et al.* (2014a) encontraram correlação significativa entre a porosidade de aeração e a Ka para a camada de 0,0-0,1 m, e até mesmo na camada de 0,1-0,2 m, onde houve menor diferença entre os indicadores de qualidade física de um Latossolo Vermelho sob PD no Paraná.

Embora alguns trabalhos demonstrem que culturas como as braquiárias têm sistema radicular agressivo, capaz de se desenvolver mais profundamente, a ausência de diferenças entre os SP indica que estes não foram eficientes em interferir nos indicadores de qualidade física do solo da camada de 0,2-0,4 m. O efeito dos SP na qualidade física do solo, dessa forma, pareceu estar limitado à camada mais superficial do solo.

4.2 Resposta das culturas aos efeitos do regime de precipitação pluvial e da qualidade física do solo

O rendimento de algodão em caroço (RAC) e a produtividade de grãos da soja (PROD) estão representados na Tabela 11.

Tabela 11. Rendimento médio de algodão em caroço (RAC), em kg ha⁻¹, nos SP1, SP2 e SP3 e médias de produtividade de grãos da soja (PROD), em kg ha⁻¹, sob PC e PD.

<i>Sistema de Produção (SP)</i>	<i>RAC</i>
SP1	3220 B*
SP2	3830 A
SP3	3897 A
<i>Sistema de Preparo (M)</i>	<i>PROD</i>
PC	3398 B*
PD	3744 A

*Letras iguais indicam ausência de diferença entre os SP ou entre os M pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O RAC somente foi influenciado pelo efeito dos SP em que o algodão foi cultivado, sendo que os SP2 e SP3 não foram diferentes entre si, mas foram superiores ao SP1, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Nota-se que as diferenças entre a QFS das três camadas estudadas se demonstraram mais evidentes quando se comparou PD e PC do que as diferenças entre os SP. Todavia, os efeitos dos dois sistemas de preparo do solo não influenciaram o RAC, indicando que as diferentes condições físicas do solo sob PC e PD, que pareceram estar diretamente relacionadas ao suprimento de água e ao movimento de ar no solo, não influenciaram o RAC.

Somente a POMAC apresentou diferença significativa entre os diferentes sistemas de produção, sendo que este fato somente ocorreu para a camada de 0,0-0,1 m, quando sob PC. A POMAC pode sofrer interferência do manejo de culturas (Reynolds *et al.*, 2002; Fidalski *et al.*, 2007), pois estes atuam na criação e manutenção dos poros com maior diâmetro, relacionados à infiltração de água e condução de gases no sistema poroso do solo. Já que o menor RAC foi encontrado no SP mais simples (SP1) pode-se dizer que o RAC parece ter sofrido influência negativa da monocultura do algodoeiro, e que a utilização de uma rotação ou uma sucessão foi benéfica tanto para a QFS quanto para o RAC. Hulugalle *et al.* (2007) dissertam que a utilização do cultivo contínuo de algodão sem a alternância com outras culturas causa a degradação estrutural do solo,

principalmente àquelas resultantes da compactação por tráfego durante a colheita e operações que envolvem máquinas agrícolas, bem como declínio na fertilidade e aumento da incidência de doenças.

Já para os SP4 e SP5, em que havia a cultura da soja sob o cultivo, somente houve diferença estatística para a produtividade de grãos de soja entre os dois sistemas de preparo, sendo que o PD propiciou produtividade superior ao PC, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Allen *et al.* (1998), citam o coeficiente de cultivo (Kc) como integrante da estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o). Este coeficiente varia de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura, sofrendo influência da área foliar e rugosidade das folhas. Dessa forma, um maior Kc indica maior demanda de água pela cultura, já que este coeficiente pode ilustrar a necessidade de água ao longo do ciclo cultural. De maneira geral, o maior valor de Kc ocorre a partir da metade do ciclo das culturas, decrescendo perto da colheita, no caso das culturas anuais.

O regime de precipitação pluvial foi diferente para cada cultura deste trabalho, assim como é demonstrado nas figuras 2 e 3, já que as semeaduras das mesmas ocorreram em datas diferentes. Para a cultura do algodoeiro observa-se, na figura 2, que a germinação e emergência parecem não terem sido prejudicadas com baixa umidade do solo, já que o volume de chuvas nos primeiros 10 dias após a semeadura (DAS) foi considerável. Apesar de não haver um grande aumento no volume de chuvas após a metade do ciclo da cultura, as precipitações parecem ter sido suficientes para um bom desenvolvimento do algodoeiro, já que houve vários dias em que a precipitação pluvial também foi considerável. Estes dados ajudam a entender o porquê de o RAC não ter sofrido efeito dos diferentes sistemas de manejo.

Na figura 3, observa-se que o regime de precipitações pluviais durante o ciclo da cultura da soja apresentou falta de chuvas, ou veranicos, em dois estágios do ciclo, já que nos primeiros dez DAS da soja não houve nenhuma precipitação acima de 15 mm.

Adicionalmente, na figura 3, observa-se que entre os 45 DAS e a colheita dos grãos o regime de precipitação também pareceu ser deficitário. Como exemplo, observa-se que nesse período de 55 dias somente houve 7 dias em que a precipitação foi maior que 15 mm. Por isso, pode-se dizer que a germinação e emergência da soja, bem como o estabelecimento da cultura, podem ter sido prejudicadas pelo efeito de um veranico logo após a semeadura. Adicionalmente, o stress hídrico após a metade do ciclo da cultura

também pode ter influenciado no nos aspectos agronômicos da soja, podendo explicar a importância da maior retenção de água na camada superficial do PD na PROD.

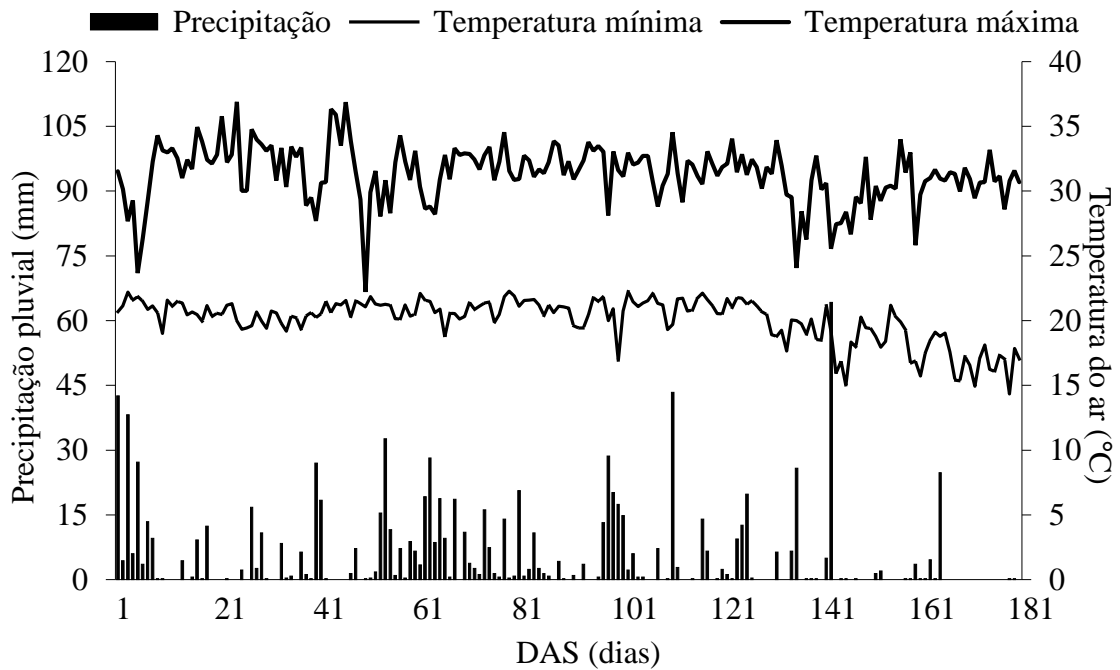


Figura 2. Regime de precipitação pluvial e de temperaturas máxima e mínima diária da estação cachoeira durante o ciclo da cultura do algodoeiro. O eixo horizontal refere-se à quantidade de dias após a semeadura (DAS) da cultura do algodoeiro. FONTE: Fundação MT.

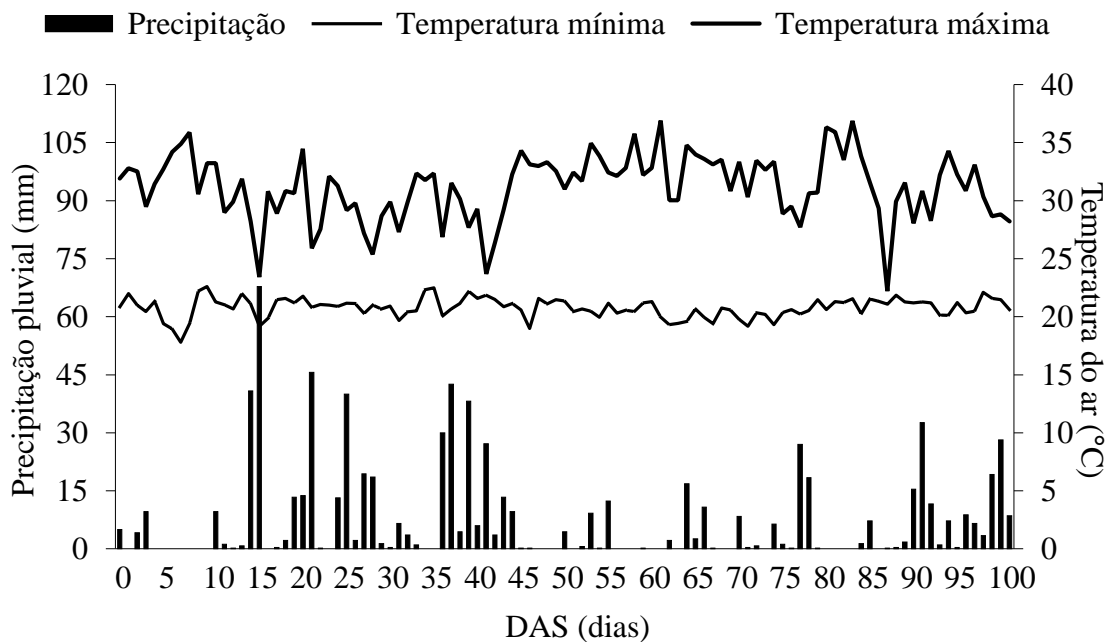


Figura 3. Regime de precipitação pluvial e de temperaturas máxima e mínima diária da estação cachoeira durante o ciclo da cultura da soja. O eixo horizontal refere-se à quantidade de dias após a semeadura (DAS) da cultura da soja. FONTE: Fundação MT.

A água constitui 90% do peso da planta de soja, atuando em praticamente todos os processos fisiológicos e bioquímicos além de desempenhar a função de solvente, transportando gases, minerais e outros solutos na planta (Sentelhas e De Almeida Monteiro, 2009). Al-Falih (2002), citou a umidade do solo como sendo o principal fator a influenciar a sobrevivência e eficiência na fixação do nitrogênio por rizóbios. Por isso, pode-se dizer que a eficiência da simbiose entre a planta e as bactérias responsáveis pela fixação biológica do nitrogênio também pode ter sido influenciada pelo stress hídrico, de modo que o suprimento de nitrogênio seja prejudicado (Sadowsky, 2005).

Em virtude do diferente comportamento do RAC e da PROD nos tratamentos analisados, as correlações entre ambos indicadores de produtividade e os indicadores de QFS medidos foram obtidas. O RAC dos tratamentos sob o cultivo de algodoeiro não se correlacionou significativamente com os indicadores de QFS medidos ($p < 0,05$), assim como demonstrado na Tabela 12.

Já a PROD dos tratamentos sob o cultivo da soja se correlacionou com alguns indicadores de QFS medidos, de modo que estas correlações, para as três camadas de solo estudadas, estão representadas na Tabela 13.

Tabela 12. Correlação entre o RAC dos tratamentos sob cultivo de algodoeiro e alguns indicadores de qualidade física do solo medidos nas três camadas estudadas.

Indicador	Camadas (m)		
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,4
Ka	0,16 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,33 ^{ns}
K1	0,19 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,32 ^{ns}
Ds	-0,16 ^{ns}	0,14 ^{ns}	-0,21 ^{ns}
CC	-0,12 ^{ns}	0,25 ^{ns}	-0,17 ^{ns}
POMAC	0,21 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,06 ^{ns}
POMAT	0,27 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
CATSOLO	0,20 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,08 ^{ns}
CAMAT	0,19 ^{ns}	-0,10 ^{ns}	0,04 ^{ns}
CC/PT	-0,19 ^{ns}	0,09 ^{ns}	-0,10 ^{ns}

^{ns} correlação não significativa ($p < 0,05$). Ka= permeabilidade do solo ao ar ; K1= Índice de continuidade de poros; Ds= densidade do solo; POMAC= porosidade no domínio dos macroporos ; POMAT= porosidade no domínio da matriz do solo; CATSOLO= capacidade de aeração total do solo; CAMAT= capacidade de aeração da matriz do solo; CC/PT= relação entre a capacidade de campo e a porosidade total.

Tabela 13. Correlação entre a PROD dos tratamentos sob cultivo de soja e alguns indicadores de qualidade física do solo medidos nas três camadas estudadas.

Indicador	Camadas (m)		
	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,4
Ka	-0,60*	-0,01 ^{ns}	0,21*
K1	-0,46 ^{ns}	-0,37 ^{ns}	0,20 ^{ns}
Ds	0,77*	-0,07 ^{ns}	-0,45 ^{ns}
CC	0,51*	0,11 ^{ns}	-0,48 ^{ns}
POMAC	-0,41 ^{ns}	0,55*	0,22 ^{ns}
POMAT	-0,75*	0,67*	0,50*
CATSOLO	-0,74*	0,71*	0,52*
CAMAT	-0,72*	0,68*	0,56*
CC/PT	0,69*	-0,63*	-0,53*

^{ns} correlação não significativa ($p < 0,05$). Ka= permeabilidade do solo ao ar ; K1= Índice de continuidade de poros; Ds= densidade do solo; POMAC= porosidade no domínio dos macroporos ; POMAT= porosidade no domínio da matriz do solo; CATSOLO= capacidade de aeração total do solo; CAMAT= capacidade de aeração da matriz do solo; CC/PT= relação entre a capacidade de campo e a porosidade total.

Para a camada de 0,0-0,1 m dos tratamentos sob cultivo da soja (Tabela 14) os indicadores Ka, Ds, CC, POMAT, CATSOLO, CAMAT, CC/PT apresentaram correlação significativa com a PROD. Nestes casos, somente a Ds, CC e CC/PT apresentaram correlação positiva com a PROD. Na camada de 0,0-0,1 m observa-se uma relação inversa entre a PROD e aqueles atributos relacionados à macroporosidade, nos quais o PD apresentou menor média. É interessante notar que também houve correlação direta da CC/PT e da Ds dessa camada com a PROD. Ambos indicadores podem ser diretamente relacionados com a microporosidade, e assim, com a maior retenção de água (Reynolds *et al.*, 2002). Não obstante, a CC/PT demonstrou que o PD apresenta uma fração excessiva do seu volume poroso preenchido com água, na CC. Por isso, pode-se dizer que, na camada de 0,0-0,1 m, a PROD apresentou relação inversa às melhores condições de aeração do PC, e direta às melhores condições de umidade do PD.

Para a camada de 0,1-0,2 m dos tratamentos sob o cultivo de soja (Tabela 14) somente os indicadores POMAC, POMAT, CATSOLO, CAMAT e CC/PT apresentaram correlação com a PROD, de modo que somente a CC/PT apresentou esta correlação negativa. Na camada de 0,1-0,2 m a PROD ainda pareceu apresentar relação direta com o indicador que apresentou maior média sob PD (POMAT), demonstrados na Tabela 5. Por isso, pode-se dizer que, contrariamente ao cenário observado na camada de 0,0-0,1 m, a camada de 0,1-0,2 m teve influência positiva na produtividade aonde os a aeração e a macroporosidade foram maiores. Isto também significa que a camada de 0,1-0,2 m

exerce influência sobre a produtividade da soja, assim como a camada de 0,0-0,1 m. Apesar de não ter sido significativamente influenciada pelos tratamentos, conforme constatado na análise de variância, a CC/PT da camada de 0,1-0,2 m apresentou relação inversa com a PROD. Levando em conta que a retenção de água e a macroporosidade podem ser inversamente correlacionadas, pode-se dizer que a aeração do solo, e o maior volume de canais e fissuras, que permitem o crescimento de raízes, influenciaram diretamente a PROD.

Na camada de 0,2-0,4 m dos tratamentos sob cultivo de soja (Tabela 14) a CC/PT apresentou correlação negativa com a PROD, enquanto os indicadores Ka, POMAT, CATSOLO e CAMAT apresentaram correlação positiva. Na camada mais profunda (0,2-0,4 m) a correlação com a PROD pareceu demonstrar uma menor importância da capacidade do solo em fornecer água às plantas em comparação à aeração e movimento de gases no solo. Entende-se que a correlação direta entre a PROD e o indicador Ka dessa camada, e a relação inversa entre PROD e CC/PT, expressam que esta camada não oferece restrições ao suprimento de água às plantas, quando estas conseguem acessá-la. O que pareceu se correlacionar à PROD nessa camada, é a capacidade de fornecer ar às raízes, para o processo da respiração radicular. Isto pode ser resultado da menor variação na umidade dessa camada do solo (Entin *et al.*, 2000; Penna *et al.*, 2013), que recebe menores influências para a perda de água. Dessa forma, entende-se que o PD proporcionou maior continuidade de poros e melhor capacidade de transporte de gases à essa camada.

A produtividade relativa (PRODR) sofreu efeito da interação entre os diferentes sistemas de preparo e os SP utilizados. Para as comparações significantes, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). A Tabela 14 demonstra o comportamento da PRODR nos diferentes tratamentos

Nota-se que quando sob PC, os SP2, SP3, SP4 e SP5 não foram diferentes entre si, mas foram superiores ao SP1. Por outro lado, quando sob PD, houve mais diferenças entre os tratamentos, de modo que os SP3, SP4 e o SP5 apresentaram médias superiores ao SP1. Sob PD, o SP5 também foi diferente e superior ao SP2.

Tabela 14. Produtividade relativa (PRODR) de cinco sistemas de produção sob PC e PD, em um LATOSSOLO Vermelho distrófico.

SP	PRODR (%)	
	PC	PD
SP1	71.79 Ba*	74.24 Ca
SP2	90.63 Aa	83.04 BCb
SP3	88.84 Aa	87.84 ABa
SP4	83.38 Ab	93.35 ABa
SP5	87.05 Ab	94.48 Aa

*Letras minúsculas iguais na mesma linha e letras maiúsculas iguais dentro das colunas indicam ausência de diferença entre os tratamentos pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os diferentes sistemas de preparo do solo somente diferiram entre si quando sob os SP2, SP4 e SP5, de modo que, somente quando sob o SP2 o PC teve média maior que o PD. Nos SP4 e SP5 o PD apresentou maior PRODR que o PC. Houve diferença entre os SP sob PC e sob PD tiveram na PRODR. Sob PC, somente houve diferença nesta variável entre o SP que consiste na monocultura do algodoeiro e o grupo dos demais SP, enquanto que sob PD este comportamento foi mais complexo. Alguns trabalhos já relataram o sinergismo e a dependência entre a utilização da rotação de culturas e o PD, de forma a proporcionar e manter melhores índices de QFS, geralmente relacionados ao acúmulo de resíduos vegetais e C no solo (Salton *et al.*, 2008; Wright *et al.*, 2008; Tivet *et al.*, 2013), assim como no caso da cultura do algodoeiro (Hulugalle *et al.*, 2007). Isto se dá pelo fato de que o SP5 também se diferenciou do SP2 sob PD, demonstrando que, além da importância da utilização de sistemas de produção que não sejam baseados na monocultivo do algodoeiro, há uma interferência positiva na PRODR quando se utiliza SP baseados na rotação de culturas mais adequadas a cada cenário agrícola, em detrimento da sucessão de culturas, como no SP2.

Levando-se em conta que o SP3 e o SP4 também são esquemas de rotação de culturas, e que estes não foram diferentes do SP2 para a variável PRODR, pode-se questionar a efetividade da utilização da rotação de culturas. Dessa forma, deve-se notar a principal diferença entre o SP5 e os SP3 e SP4: o cultivo de braquiária durante um período de maior tempo. O SP5 é o único em que a braquiária é cultivada desde a safra de verão até a próxima, de modo que a influência da braquiária cultivada em um maior período na QFS pode ser maior que àquela em que há a semeadura no inverno e a

dessecação na antessafra. Os benefícios da utilização das braquiárias nos sistemas de produção agrícola também são largamente demonstrados na literatura. Franchini *et al.* (2011), comentaram que a utilização de braquiárias no sistema de rotação de culturas influencia fortemente na produtividade da soja, principalmente em anos caracterizados pelas ocorrências de secas. Estes autores destacaram ainda que a utilização de forrageiras tropicais influencia principalmente nos valores de umidade do solo, e conseqüentemente, na germinação e emergência das culturas submetidas ao estresse hídrico. De fato, como já mencionado, houve baixo volume de precipitação pluvial durante a emergência da cultura da soja. Os efeitos da braquiária também são evidenciados na agregação pela liberação de mucilagens (Salton *et al.*, 2008) e pela maior produção de matéria seca, podendo também influenciar, na agregação, no diâmetro médio ponderado. (Garcia e Rosolem, 2010).

5 CONCLUSÕES

a) A utilização de sistemas de preparo do solo influenciou as propriedades físicas no perfil avaliado.

b) No PC, a camada de 0,0-0,1 m teve maior macroporosidade e melhor aeração do solo enquanto que na camada de 0,1-0,2 m verificou-se maior POMAT nos sistemas de produção SP e SP5. Na camada de 0,2-0,4 m constatou menores valores de CC e POMAT em PC.

c) Em PD foram obtidos valores de CC cerca de 15% maiores do que em PC na camada de 0,0-0,1 m bem como maior conectividade e continuidade de poros na camada de 0,2-0,4 m em comparação com PC.

d) A produtividade da soja foi 10,2% maior em PD do que em PC, provavelmente associada a maior disponibilidade de água e condições físicas favoráveis ao crescimento das raízes em profundidade.

6 REFERÊNCIAS

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 519-531, 2004. ISSN 0100-0683. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832004000300013&nrm=iso >.

AL-FALIH, A. M. Factors affecting the efficiency of symbiotic nitrogen fixation by Rhizobium. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v. 5, n. 11, p. 1277-1293, 2002.

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 799-806, 2003. ISSN 0100-0683. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000500004&nrm=iso >.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **FAO, Rome**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

ANDRADE, R. D. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. D. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 411-418, 2009.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, 2007. ISSN 0100-0683. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v31n5/a25v31n5.pdf> >. Acesso em: 20/10/2015.

ARORA, H.; COLEMAN, N. The influence of electrolyte concentration on flocculation of clay suspensions. **Soil Science**, v. 127, n. 3, p. 134-139, 1979. ISSN 0038-075X.

BALL, B.; SMITH, K.; KLEMEDTSSON, L.; BRUMME, R.; SITAULA, B.; HANSEN, S.; PRIEMÉ, A.; MACDONALD, J.; HORGAN, G. The influence of soil gas transport properties on methane oxidation in a selection of northern European soils. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)**, v. 102, n. D19, p. 23309-23317, 1997. ISSN 2156-2202.

BALL, B. C.; HUNTER, R. The determination of water release characteristics of soil cores at low suctions. **Geoderma**, v. 43, n. 2–3, p. 195-212, 12// 1988. ISSN 0016-7061. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016706188900432> >.

BALL, B. C.; SCHJØNNING, P. 4.4 Air Permeability. In: DANE, J. H. e TOPP, C. G. (Ed.). **Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods**: Soil Science Society of America, 2002. p.1141-1158. (SSSA Book Series).

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4. Jaboticabal: FUNEP, 2006.

BAUDER, J. W.; RANDALL, G. W.; SWANN, J. B. Effect of Four Continuous Tillage Systems on Mechanical Impedance of a Clay Loam Soil1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, n. 4, 1981. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500040026x> >.

BERISSO, F. E.; SCHJØNNING, P.; KELLER, T.; LAMANDÉ, M.; ETANA, A.; DE JONGE, L. W.; IVERSEN, B. V.; ARVIDSSON, J.; FORKMAN, J. Persistent effects of subsoil compaction on pore size distribution and gas transport in a loamy soil. **Soil and Tillage Research**, v. 122, p. 42-51, 6// 2012. ISSN 0167-1987. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198712000451> >.

BERTOL, I.; COGO, N.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e na ausência dos resíduos culturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 409-418, 1997. ISSN 0100-0683.

BERTONI, J.; PASTANA, F. I.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JUNIOR, R. **Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo, no Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1972. 56.

BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; FERREIRA, C. J. B.; SILVA, Á. P. D.; 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. ISSN 0100-0683. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832012000300027&nrm=iso >.

BETIOLI JUNIOR, E.; TORMENA, C. A.; MOREIRA, W. H.; BALL, B. C.; FIGUEIREDO, G. C.; SILVA, Á. P. D.; GIAROLA, N. F. B. Aeration condition of a clayey oxisol under long-term no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 990-999, 2014a. ISSN 0100-0683. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000300031&nrm=iso >.

BETIOLI JUNIOR, E.; TORMENA, C. A.; MOREIRA, W. H.; BALL, B. C.; FIGUEIREDO, G. C.; SILVA, Á. P. D.; GIAROLA, N. F. B. Aeration condition of a clayey oxisol under long-term no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38,

n. 3, p. 990-999, 2014b. ISSN 0100-0683. Disponível em: <
http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000300031&nrm=iso >.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 6, p. 581-588, 2004. ISSN 1678-3921. Disponível em: <
<http://www.scielo.br/pdf/pab/v39n6/v39n6a10.pdf> >.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 1// 2005. ISSN 0016-7061. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706104000898> >.

BRUBAKER, S.; HOLZHEY, C.; BRASHER, B. Estimating the water-dispersible clay content of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 4, p. 1226-1232, 1992. ISSN 0361-5995.

BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; CAMP, C. R.; SOJKA, R. E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil and Tillage Research**, v. 43, n. 3-4, p. 205-217, 11/10/ 1997. ISSN 0167-1987. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198797000159> >.

BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; FREDERICK, J. R. Recompaction of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil and Tillage Research**, v. 68, n. 1, p. 49-57, 10// 2002. ISSN 0167-1987. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198702000831> >.

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.

CASÃO JUNIOR, R.; DE ARAÚJO, A.; LLANILLO, R. **Plantio Direto no Sul do Brasil**: . Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), 2012.

CASSOL, E.; DENARDIN, J.; KOCHHANN, R. **Sistema plantio direto**: . Embrapa Trigo, 2008.

CAVALIERI, K. M. V.; DA SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; LEÃO, T. P.; DEXTER, A. R.; HÅKANSSON, I. Long-term effects of no-tillage on dynamic soil physical properties in a Rhodic Ferrasol in Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 103, n. 1, p. 158-164, 4// 2009. ISSN 0167-1987. Disponível em: <
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198708001918> >.

CLAESSEN, M.; BARRETO, W. D. O.; PAULA, J. D.; DUARTE, M. **Manual de métodos de análise de solo**: Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS 1997.

COCKROFT, B.; OLSSON, K. A. Chapter 16 Case study of soil quality in South-Eastern Australia: Management of structure for roots in duplex soils. In: GREGORICH, E. G. e CARTER, M. R. (Ed.). **Developments in Soil Science**: Elsevier, v.25, 1997. p.339-350. ISBN 0166-2481.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**: Companhia Nacional de Abastecimento. 2: 134 p. 2015.

CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira: grãos**. ABASTECIMENTO, C. N. D. Brasília. 3: 154 p. 2016.

COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. D. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 852-863, 2015. ISSN 0100-0683. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000300852&nrm=iso >.

CRITTENDEN, S. J.; POOT, N.; HEINEN, M.; VAN BALEN, D. J. M.; PULLEMAN, M. M. Soil physical quality in contrasting tillage systems in organic and conventional farming. **Soil and Tillage Research**, v. 154, p. 136-144, 12// 2015. ISSN 0167-1987. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016719871500135X> >.

CZYŻ, E. A. Effects of traffic on soil aeration, bulk density and growth of spring barley. **Soil and Tillage Research**, v. 79, n. 2, p. 153-166, 12// 2004. ISSN 0167-1987. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198704001412> >.

DÖRNER, J.; HORN, R. Anisotropy of pore functions in structured Stagnic Luvisols in the Weichselian moraine region in N Germany. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 169, n. 2, p. 213-220, 2006. ISSN 1522-2624.

EHLERS, W.; KÖPKE, U.; HESSE, F.; BÖHM, W. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. **Soil and Tillage Research**, v. 3, n. 3, p. 261-275, 1983/07/01 1983. ISSN 0167-1987. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0167198783900272> >.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: 353 p. 2013.

ENTIN, J. K.; ROBOCK, A.; VINNIKOV, K. Y.; HOLLINGER, S. E.; LIU, S.; NAMKHAI, A. Temporal and spatial scales of observed soil moisture variations in the extratropics. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012)**, v. 105, n. D9, p. 11865-11877, 2000. ISSN 2156-2202.

FERREIRA, T. R.; BORGES, J. A. R.; PIRES, L. F. Representative elementary area for soil bulk density measurements of samples collected in volumetric rings by CT image analyses. **Soil and Tillage Research**, v. 152, p. 74-84, 9// 2015. ISSN 0167-1987. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198715000641> >.

FERRERAS, L. A.; COSTA, J. L.; GARCIA, F. O.; PECORARI, C. Effect of no-tillage on some soil physical properties of a structural degraded Petrocalcic Paleudoll of the southern “Pampa” of Argentina. **Soil and Tillage Research**, v. 54, n. 1–2, p. 31-39, 3// 2000. ISSN 0167-1987. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198799001026> >.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; CECATO, U.; BARBERO, L. M.; LUGÃO, S. M. B.; COSTA, M. A. T. Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 11, p. 1583-1590, 2008. ISSN 0100-204X. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2008001100018&nrm=iso >.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; SILVA, Á. P. D. Qualidade física do solo em pomar de laranja no noroeste do paraná com manejo da cobertura permanente na entrelinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 423-433, 2007. ISSN 0100-0683. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832007000300002&nrm=iso >.

FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L. D.; BÜLL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 49-57, 2006. ISSN 0100-0683. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832006000100006&nrm=iso >.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M. D.; DEBIASI, H. Rotação de culturas: prática que confere maior sustentabilidade a produção agrícola no Paraná. **Informações Agrônomicas**, n. 134, p. 1-13, 2011.

GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, p. 1489-1498, 2010.

GERARD, C.; SEXTON, P.; SHAW, G. Physical factors influencing soil strength and root growth. **Agronomy Journal**, v. 74, n. 5, p. 875-879, 1982. ISSN 0002-1962. Disponível em: < <https://dl.sciencesocieties.org/publications/aj/abstracts/74/5/AJ0740050875> >.

GILLMAN, G. P. The influence of net charge on water dispersible clay and sorbed sulphate. **Soil Research**, v. 12, n. 2, p. 173-6, 1974. Disponível em: < <http://www.publish.csiro.au/paper/SR9740173> >.

GROENEVELT, P. H.; KAY, B. D.; GRANT, C. D. Physical assessment of a soil with respect to rooting potential. **Geoderma**, v. 34, n. 2, p. 101-114, 11// 1984. ISSN 0016-7061. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016706184900168> >.

GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. 2.1 Bulk Density and Linear Extensibility. In: DANE, J. H. e TOPP, C. G. (Ed.). **Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods**: Soil Science Society of America, 2002. p.201-228. (SSSA Book Series).

HÅKANSSON, I. **Machinery-induced Compaction of Arable Soils: Incidence-consequences-counter-measures**. 109. Uppsala, Sweden: Swedish University of Agricultural Sciences Department of Soil Sciences, Division of Soil Management 2005.

HAMMEL, J. E. Long-Term Tillage and Crop Rotation Effects on Bulk Density and Soil Impedance in Northern Idaho. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53, n. 5, p. 1515-1519, 1989. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1989.03615995005300050036x> >.

HOFFMANN, L. L.; REIS, E. M.; FORCELINI, C. A.; PANISSON, E.; MENDES, C. S.; CASA, R. T. Efeitos da rotação de cultura, de cultivares e da aplicação de fungicida sobre o rendimento de grãos e doenças foliares em soja. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 245-251, 2004.

HULUGALLE, N. R.; WEAVER, T. B.; FINLAY, L. A.; HARE, J.; ENTWISTLE, P. C. Soil properties and crop yields in a dryland Vertisol sown with cotton-based crop rotations. **Soil and Tillage Research**, v. 93, n. 2, p. 356-369, 4// 2007. ISSN 0167-1987. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198706001371> >.

INSTITUTE, S. **SAS/STAT user's guide, version 6**. SAS institute Cary, NC, 1990.

JOSA, R.; GINOVART, M.; SOLÉ, A. Effects of two tillage techniques on soil macroporosity in sub-humid environment. **International Agrophys**, v. 24, n. 2, p. 139-147, 2010.

JÚNIOR, M. D.; ESTANISLAU, W. Grau de compactação e retenção de água de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 1, p. 45-51, 1999. ISSN 0100-0683.

KAPPES, C. Z., L.; CORADINI, D.; VALENDORFF, J.D.P.; VERONESE, M.; DAVID, M.A.; FRANCISCO, E.A.B. Sistemas de produção de grãos no Estado de Mato Grosso. In: EDITORA, P. P. (Ed.). **Boletim de pesquisa de soja 2013/2014**: FUNDAÇÃO MT, v.16, 2013. p.288-299.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D.; RIBEIRO, C. M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 1, p. 97-104, 2000.

KUMAR, A.; CHEN, Y.; SADEK, M. A.-A.; RAHMAN, S. Soil cone index in relation to soil texture, moisture content, and bulk density for no-tillage and conventional tillage. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v. 14, n. 1, p. 26-37, 2012. ISSN 1682-1130.

LAL, R. Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 70, n. 3, p. 55A-62A, 2015. ISSN 0022-4561. Disponível em: < <http://www.jswconline.org/content/70/3/55A.refs> >.

LAL, R.; REICOSKY, D. C.; HANSON, J. D. Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. **Soil and Tillage Research**, v. 93, n. 1, p. 1-12, 3// 2007. ISSN 0167-1987. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198706002522> >.

LAL, R.; SHUKLA, M. K. **Principles of soil physics**. Marcel Dekker, 2004. 682 ISBN 0-203-02123-1.

LETEY, J. Relationship between Soil Physical Properties and Crop Production. In: STEWART, B. A. (Ed.). **Advances in Soil Science**: Springer New York, v.1, 1985. cap. 8, p.277-294. (Advances in Soil Science). ISBN 978-1-4612-9539-6.

LINH, T. B.; SLEUTEL, S.; VO THI, G.; LE VAN, K.; CORNELIS, W. M. Deeper tillage and root growth in annual rice-upland cropping systems result in improved rice yield and economic profit relative to rice monoculture. **Soil and Tillage Research**, v. 154, p. 44-52, 12// 2015. ISSN 0167-1987. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198715001282> >.

MAHBOUBI, A. A.; LAL, R.; FAUSSEY, N. R. Twenty-Eight Years of Tillage Effects on Two Soils in Ohio. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, n. 2, p. 506-512,

1993. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700020034x> >.

MARSCHNER, H.; RIMMINGTON, G. **Mineral nutrition of higher plants**: Wiley Online Library 1996.

MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; BETIOLI JUNIOR, E.; FIGUEIREDO, G. C.; SILVA, Á. P. D.; GIAROLA, N. F. B. Quantificação do intervalo hídrico ótimo de um Latosso Vermelho utilizando duas estratégias metodológicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1772-1783, 2014. ISSN 0100-0683. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000600012&nrm=iso >.

MOSSADEGHI-BJÖRKLUND, M.; ARVIDSSON, J.; KELLER, T.; KOESTEL, J.; LAMANDÉ, M.; LARSBO, M.; JARVIS, N. Effects of subsoil compaction on hydraulic properties and preferential flow in a Swedish clay soil. **Soil and Tillage Research**, v. 156, p. 91-98, 3// 2016. ISSN 0167-1987. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198715300301> >.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 531-538, 2001. ISSN 0100-0683. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832001000300002&nrm=iso >.

NAKAJIMA, T.; LAL, R. Tillage and drainage management effect on soil gas diffusivity. **Soil and Tillage Research**, v. 135, p. 71-78, 1// 2014. ISSN 0167-1987. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016719871300161X> >.

NETO, A. N. S.; DA SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F.; DE OLIVEIRA, L. F. C. EFEITOS DE MANEJO E ROTAÇÃO DE CULTURAS EM ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, v. 36, n. 1, p. 29-35, 2007. Disponível em: < [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/PAT36\(1\)ID-WY5s22pRXp.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/PAT36(1)ID-WY5s22pRXp.pdf) >.

O'SULLIVAN, M. F.; BALL, B. C. The shape of the water release characteristic as affected by tillage, compaction and soil type. **Soil and Tillage Research**, v. 25, n. 4, p. 339-349, 1993/01/01 1993. ISSN 0167-1987. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016719879390032K> >.

OADES, J. Mucilages at the root surface. **Journal of Soil Science**, v. 29, n. 1, p. 1-16, 1978. ISSN 1365-2389.

OADES, J. The retention of organic matter in soils. **Biogeochemistry**, v. 5, n. 1, p. 35-70, 1988. ISSN 0168-2563.

PENNA, D.; BROCCA, L.; BORGA, M.; DALLA FONTANA, G. Soil moisture temporal stability at different depths on two alpine hillslopes during wet and dry periods. **Journal of Hydrology**, v. 477, p. 55-71, 1/16/ 2013. ISSN 0022-1694. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169412009766> >.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da Semente**. Brasília -DF: ABRATES, 1985. 286 Disponível em: < http://www.jc.iffarroupilha.edu.br/site/midias/arquivos/201210199588853livro_fisiologia_sementes.pdf >.

RADFORD, B. J.; YULE, D. F.; MCGARRY, D.; PLAYFORD, C. Amelioration of soil compaction can take 5 years on a Vertisol under no till in the semi-arid subtropics. **Soil and Tillage Research**, v. 97, n. 2, p. 249-255, 12// 2007. ISSN 0167-1987. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198706000316> >.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, n. 3, p. 211-216, 1988. ISSN 0100-0683.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, n. 1-2, p. 131-146, 11// 2002. ISSN 0016-7061. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706102002288> >.

REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; YANG, X. M.; TAN, C. S. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. **Geoderma**, v. 146, n. 3-4, p. 466-474, 8/31/ 2008. ISSN 0016-7061. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706108001821> >.

ROSEBERG, R. J.; MCCOY, E. L. Tillage- and Traffic-Induced Changes in Macroporosity and Macropore Continuity: Air Permeability Assessment. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 4, p. 1261-1267, 1992. Disponível em: < <http://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/56/4/1261> >.

SADOWSKY, M. J. Soil stress factors influencing symbiotic nitrogen fixation. In: (Ed.). **Nitrogen Fixation in Agriculture, Forestry, Ecology, and the Environment**: Springer, 2005. p.89-112. ISBN 140203542X.

SAINJU, U. M.; WHITEHEAD, W. F.; SINGH, B. P.; WANG, S. Tillage, cover crops, and nitrogen fertilization effects on soil nitrogen and cotton and sorghum yields. **European Journal of Agronomy**, v. 25, n. 4, p. 372-382, 11// 2006. ISSN 1161-0301.

Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1161030106000979> >.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 11-21, 2008. ISSN 0100-0683. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000100002&nrm=iso >.

SANCHEZ, P. A.; LOGAN, T. J. Myths and science about the chemistry and fertility of soils in the tropics. In: LAL, R. S., P.A. (Ed.). **Myths and science of soil of the tropics**. Madison: SSSA/ASA, v.29, 1992. p.35-46.

SENTELHAS, P. C.; DE ALMEIDA MONTEIRO, J. E. B. **Agrometeorologia dos Cultivos**. Brasília, DF: I: NMET, 2009.

SILVA, A. P. D.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the Least Limiting Water Range of Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 6, p. 1775-1781, 1994. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800060028x> >.

SILVA, G. J.; MAIA, J. C. D. S.; BIANCHINI, A. Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas à irrigação subsuperficial e a diferentes graus de compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 1, p. 31-40, 2006. ISSN 0100-0683. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832006000100004&nrm=iso >.

SILVA, I. D.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 1, p. 113-117, 1997. ISSN 0100-0683.

SIQUEIRA NETO, M.; VENZKE FILHO, S. D. P.; PICCOLO, M. D. C.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR): I - Sequestro de carbono no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 1013-1022, 2009. ISSN 0100-0683. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832009000400025&nrm=iso >.

SOANE, B. D.; BALL, B. C.; ARVIDSSON, J.; BASCH, G.; MORENO, F.; ROGER-ESTRADE, J. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. **Soil and Tillage**

Research, v. 118, p. 66-87, 1// 2012. ISSN 0167-1987. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198711001814> >.

STONE, L.; SILVEIRA, P. D. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 395-401, 2001. ISSN 0100-0683.

SUAREZ, D.; RHOADES, J.; LAVADO, R.; GRIEVE, C. Effect of pH on saturated hydraulic conductivity and soil dispersion. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, n. 1, p. 50-55, 1984. ISSN 0361-5995.

SUTTON, R. F. Soil properties and root development in forest trees: a review. **Information report OX-Canadian Forestry Service, Great Lakes Forestry Centre**, 1991. ISSN 0832-7122.

TAVARES-FILHO, J.; FONSECA, I. C. D. B.; RIBON, A. A.; BARBOSA, G. M. D. C. Efeito da escarificação na condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, p. 996-999, 2006. ISSN 0103-8478. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782006000300045&nrm=iso >.

TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Characterization of soil structure and porosity under long-term conventional tillage and no-tillage systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1837-1844, 2009. ISSN 0100-0683. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832009000600032&nrm=iso >.

TIVET, F.; SÁ, J. C. D. M.; LAL, R.; BORSZOWSKI, P. R.; BRIEDIS, C.; SANTOS, J. B. D.; SÁ, M. F. M.; HARTMAN, D. D. C.; EURICH, G.; FARIAS, A.; BOUZINAC, S.; SÉGUY, L. Soil organic carbon fraction losses upon continuous plow-based tillage and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Geoderma**, v. 209–210, p. 214-225, 11// 2013. ISSN 0016-7061. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706113002085> >.

TOPP, G. C.; REYNOLDS, W. D.; COOK, F. J.; KIRBY, J. M.; CARTER, M. R. Chapter 2 Physical attributes of soil quality. In: GREGORICH, E. G. e CARTER, M. R. (Ed.). **Developments in Soil Science**: Elsevier, v. Volume 25, 1997. p.21-58. ISBN 0166-2481.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. D.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 4, p. 573-581, 1998. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06831998000400002&script=sci_arttext >.

TULI, A.; HOPMANS, J. W.; ROLSTON, D. E.; MOLDRUP, P. Comparison of Air and Water Permeability between Disturbed and Undisturbed Soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 69, n. 5, p. 1361-1371, 2005/9 2005. Disponível em: < <https://www.soils.org/publications/sssaj/abstracts/69/5/1361> >.

VEIGA, M. D.; HORN, R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 92, n. 1-2, p. 104-113, 1// 2007. ISSN 0167-1987. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198706000286> >.

WESTERHOF, R.; BUURMAN, P.; VAN GRIETHUYSEN, C.; AYARZA, M.; VILELA, L.; ZECH, W. Aggregation studied by laser diffraction in relation to plowing and liming in the Cerrado region in Brazil. **Geoderma**, v. 90, n. 3-4, p. 277-290, 7// 1999. ISSN 0016-7061. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706198001335> >.

WRIGHT, A. L.; HONS, F. M.; LEMON, R. G.; MCFARLAND, M. L.; NICHOLS, R. L. Microbial activity and soil C sequestration for reduced and conventional tillage cotton. **Applied Soil Ecology**, v. 38, n. 2, p. 168-173, 2// 2008. ISSN 0929-1393. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092913930700131X> >.

ZANCANARO, L. **Desafios para o Manejo Sustentável dos Nutrientes em Sistemas de Produção de Soja**. VII Congresso Brasileiro de Soja. Florianópolis 2015.

ZANCANARO, L.; TESSARO, L. Calagem e adubação. **Algodão: Pesquisa e resultados para o campo**. Cuiabá, FACUAL, p. 56-81, 2006.

Anexo 1. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD), representados na unidade de kg m^{-3} , e P-valor do teste de Shapiro Wilk ($\text{Pr}<w$) para a variável Ds (kg m^{-3}) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP, SP4 e SP5).

Camada (m)	M	SP	MÉDIA	MÁX	MÍN	DESVPAD	Pr<w
0,0-0,1	PC	SP1	1,09	1,24	0,95	0,103	0,272
0,0-0,1	PC	SP2	1,07	1,23	0,97	0,073	0,467
0,0-0,1	PC	SP3	1,02	1,07	0,97	0,034	0,511
0,0-0,1	PC	SP4	1,04	1,16	1,00	0,043	0,002
0,0-0,1	PC	SP5	1,09	1,19	1,00	0,060	0,119
0,0-0,1	PD	SP1	1,20	1,26	1,09	0,050	0,739
0,0-0,1	PD	SP2	1,18	1,27	1,02	0,076	0,093
0,0-0,1	PD	SP3	1,20	1,28	1,12	0,054	0,347
0,0-0,1	PD	SP4	1,25	1,30	1,21	0,028	0,240
0,0-0,1	PD	SP5	1,24	1,33	1,15	0,055	0,622
0,1-0,2	PC	SP1	1,15	1,21	1,06	0,053	0,095
0,1-0,2	PC	SP2	1,15	1,24	0,99	0,082	0,165
0,1-0,2	PC	SP3	1,13	1,24	1,02	0,076	0,104
0,1-0,2	PC	SP4	1,17	1,23	1,13	0,026	0,556
0,1-0,2	PC	SP5	1,20	1,29	1,11	0,060	0,394
0,1-0,2	PD	SP1	1,17	1,23	1,10	0,048	0,279
0,1-0,2	PD	SP2	1,16	1,21	1,13	0,026	0,517
0,1-0,2	PD	SP3	1,21	1,25	1,15	0,028	0,866
0,1-0,2	PD	SP4	1,20	1,25	1,14	0,030	0,873
0,1-0,2	PD	SP5	1,15	1,21	1,09	0,040	0,522
0,2-0,4	PC	SP1	1,17	1,24	1,13	0,032	0,681
0,2-0,4	PC	SP2	1,15	1,26	1,09	0,057	0,017
0,2-0,4	PC	SP3	1,16	1,22	1,08	0,049	0,092
0,2-0,4	PC	SP4	1,19	1,34	1,12	0,079	0,029
0,2-0,4	PC	SP5	1,14	1,19	1,08	0,040	0,189
0,2-0,4	PD	SP1	1,17	1,25	1,09	0,041	0,969
0,2-0,4	PD	SP2	1,16	1,25	1,06	0,053	0,370
0,2-0,4	PD	SP3	1,16	1,21	1,07	0,038	0,508
0,2-0,4	PD	SP4	1,19	1,24	1,13	0,032	0,799
0,2-0,4	PD	SP5	1,14	1,22	1,06	0,050	0,178

Anexo 2. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD), representados na unidade de $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, e P-valor do teste de Shapiro Wilk ($\text{Pr}<w$) para a variável PT ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP, SP4 e SP5).

Camada (m)	M	SP	MÉDIA	MÁX	MÍN	DESVPAD	Pr<w
0,0-0,1	PC	SP1	0,56	0,60	0,52	0,035	0,013
0,0-0,1	PC	SP2	0,57	0,61	0,51	0,028	0,301
0,0-0,1	PC	SP3	0,60	0,62	0,58	0,014	0,189
0,0-0,1	PC	SP4	0,57	0,61	0,42	0,049	0,000
0,0-0,1	PC	SP5	0,57	0,60	0,53	0,024	0,332
0,0-0,1	PD	SP1	0,54	0,57	0,52	0,014	0,745
0,0-0,1	PD	SP2	0,54	0,59	0,52	0,024	0,120
0,0-0,1	PD	SP3	0,53	0,57	0,50	0,020	0,717
0,0-0,1	PD	SP4	0,51	0,53	0,48	0,014	0,992
0,0-0,1	PD	SP5	0,51	0,54	0,48	0,019	0,804
0,1-0,2	PC	SP1	0,51	0,55	0,48	0,024	0,001
0,1-0,2	PC	SP2	0,51	0,57	0,44	0,037	0,415
0,1-0,2	PC	SP3	0,52	0,58	0,47	0,031	0,655
0,1-0,2	PC	SP4	0,50	0,54	0,45	0,020	0,224
0,1-0,2	PC	SP5	0,49	0,54	0,45	0,028	0,784
0,1-0,2	PD	SP1	0,54	0,57	0,52	0,015	0,594
0,1-0,2	PD	SP2	0,54	0,56	0,50	0,016	0,697
0,1-0,2	PD	SP3	0,52	0,55	0,50	0,014	0,563
0,1-0,2	PD	SP4	0,53	0,57	0,52	0,014	0,005
0,1-0,2	PD	SP5	0,55	0,57	0,53	0,016	0,087
0,2-0,4	PC	SP1	0,52	0,54	0,49	0,013	0,102
0,2-0,4	PC	SP2	0,52	0,54	0,50	0,016	0,388
0,2-0,4	PC	SP3	0,53	0,58	0,50	0,029	0,025
0,2-0,4	PC	SP4	0,51	0,57	0,47	0,031	0,189
0,2-0,4	PC	SP5	0,53	0,58	0,49	0,027	0,157
0,2-0,4	PD	SP1	0,52	0,56	0,48	0,026	0,530
0,2-0,4	PD	SP2	0,51	0,55	0,48	0,022	0,710
0,2-0,4	PD	SP3	0,51	0,57	0,49	0,021	0,041
0,2-0,4	PD	SP4	0,50	0,53	0,48	0,016	0,968
0,2-0,4	PD	SP5	0,52	0,57	0,50	0,023	0,090

Anexo 3. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD), representados na unidade de $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, e P-valor do teste de Shapiro Wilk ($\text{Pr}<w$) para a variável CC ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP, SP4 e SP5).

Camada (m)	M	SP	MÉDIA	MÁX	MÍN	DESVPAD	Pr<w
0,0-0,1	PC	SP1	0,37	0,41	0,34	0,022	0,981
0,0-0,1	PC	SP2	0,37	0,42	0,34	0,024	0,328
0,0-0,1	PC	SP3	0,36	0,38	0,33	0,015	0,665
0,0-0,1	PC	SP4	0,34	0,38	0,21	0,044	<0,0001
0,0-0,1	PC	SP5	0,38	0,40	0,34	0,022	0,115
0,0-0,1	PD	SP1	0,42	0,44	0,39	0,012	0,119
0,0-0,1	PD	SP2	0,41	0,45	0,37	0,022	0,816
0,0-0,1	PD	SP3	0,40	0,43	0,38	0,018	0,284
0,0-0,1	PD	SP4	0,42	0,47	0,39	0,020	0,351
0,0-0,1	PD	SP5	0,43	0,46	0,40	0,020	0,380
0,1-0,2	PC	SP1	0,38	0,45	0,36	0,024	0,001
0,1-0,2	PC	SP2	0,37	0,40	0,32	0,026	0,050
0,1-0,2	PC	SP3	0,37	0,40	0,33	0,022	0,729
0,1-0,2	PC	SP4	0,38	0,42	0,33	0,021	0,098
0,1-0,2	PC	SP5	0,38	0,42	0,34	0,026	0,192
0,1-0,2	PD	SP1	0,37	0,39	0,35	0,011	0,668
0,1-0,2	PD	SP2	0,38	0,42	0,36	0,020	0,014
0,1-0,2	PD	SP3	0,37	0,39	0,35	0,011	0,178
0,1-0,2	PD	SP4	0,39	0,41	0,37	0,012	0,647
0,1-0,2	PD	SP5	0,40	0,47	0,38	0,026	0,004
0,2-0,4	PC	SP1	0,37	0,39	0,35	0,011	0,144
0,2-0,4	PC	SP2	0,36	0,38	0,35	0,009	0,353
0,2-0,4	PC	SP3	0,36	0,38	0,34	0,014	0,696
0,2-0,4	PC	SP4	0,38	0,42	0,35	0,023	0,034
0,2-0,4	PC	SP5	0,36	0,37	0,35	0,007	0,336
0,2-0,4	PD	SP1	0,36	0,37	0,34	0,010	0,627
0,2-0,4	PD	SP2	0,36	0,38	0,34	0,013	0,771
0,2-0,4	PD	SP3	0,36	0,37	0,34	0,012	0,087
0,2-0,4	PD	SP4	0,37	0,39	0,35	0,011	0,872
0,2-0,4	PD	SP5	0,36	0,38	0,34	0,012	0,641

Anexo 4. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD) e P-valor do teste de Shapiro Wilk (Pr<w) para a variável CC/PT (adimensional) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP, SP4 e SP5).

Camada (m)	M	SP	MÉDIA	MÁX	MÍN	DESVPAD	Pr<w
0,0-0,1	PC	SP1	0,67	0,79	0,57	0,078	0,114
0,0-0,1	PC	SP2	0,65	0,82	0,56	0,070	0,087
0,0-0,1	PC	SP3	0,59	0,63	0,56	0,026	0,319
0,0-0,1	PC	SP4	0,60	0,65	0,49	0,040	0,010
0,0-0,1	PC	SP5	0,67	0,76	0,59	0,062	0,212
0,0-0,1	PD	SP1	0,77	0,81	0,72	0,030	0,605
0,0-0,1	PD	SP2	0,77	0,85	0,64	0,054	0,624
0,0-0,1	PD	SP3	0,76	0,84	0,70	0,050	0,192
0,0-0,1	PD	SP4	0,83	0,89	0,77	0,037	0,517
0,0-0,1	PD	SP5	0,84	0,90	0,79	0,037	0,539
0,1-0,2	PC	SP1	0,75	0,85	0,69	0,049	0,550
0,1-0,2	PC	SP2	0,72	0,82	0,61	0,067	0,736
0,1-0,2	PC	SP3	0,71	0,81	0,57	0,079	0,377
0,1-0,2	PC	SP4	0,77	0,82	0,71	0,029	0,553
0,1-0,2	PC	SP5	0,78	0,89	0,68	0,071	0,216
0,1-0,2	PD	SP1	0,69	0,74	0,63	0,036	0,263
0,1-0,2	PD	SP2	0,70	0,76	0,65	0,035	0,960
0,1-0,2	PD	SP3	0,72	0,76	0,67	0,030	0,242
0,1-0,2	PD	SP4	0,73	0,78	0,67	0,030	0,818
0,1-0,2	PD	SP5	0,73	0,82	0,68	0,036	0,043
0,2-0,4	PC	SP1	0,71	0,76	0,67	0,030	0,077
0,2-0,4	PC	SP2	0,70	0,75	0,65	0,028	0,992
0,2-0,4	PC	SP3	0,69	0,76	0,58	0,054	0,056
0,2-0,4	PC	SP4	0,74	0,89	0,65	0,081	0,030
0,2-0,4	PC	SP5	0,69	0,75	0,62	0,041	0,654
0,2-0,4	PD	SP1	0,69	0,77	0,64	0,039	0,549
0,2-0,4	PD	SP2	0,70	0,77	0,63	0,047	0,590
0,2-0,4	PD	SP3	0,69	0,74	0,60	0,047	0,123
0,2-0,4	PD	SP4	0,73	0,78	0,67	0,038	0,111
0,2-0,4	PD	SP5	0,68	0,74	0,59	0,047	0,342

Anexo 5. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD), representados na unidade de $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, e P-valor do teste de Shapiro Wilk (Pr<w) para a variável POMAC ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP3, SP4 e SP5).

Camada (m)	M	SP	MÉDIA	MÁX	MÍN	DESVPAD	Pr<w
0,0-0,1	PC	SP1	0,02	0,05	0,01	0,014	0,014
0,0-0,1	PC	SP2	0,02	0,03	0,01	0,008	0,898
0,0-0,1	PC	SP3	0,04	0,16	0,02	0,039	<0,0001
0,0-0,1	PC	SP4	0,03	0,05	0,01	0,013	0,038
0,0-0,1	PC	SP5	0,03	0,06	0,01	0,012	0,001
0,0-0,1	PD	SP1	0,02	0,03	0,01	0,005	0,495
0,0-0,1	PD	SP2	0,02	0,03	0,02	0,005	0,098
0,0-0,1	PD	SP3	0,03	0,14	0,01	0,037	<0,0001
0,0-0,1	PD	SP4	0,02	0,03	0,00	0,007	0,367
0,0-0,1	PD	SP5	0,02	0,03	0,00	0,005	0,419
0,1-0,2	PC	SP1	0,02	0,04	0,01	0,008	0,019
0,1-0,2	PC	SP2	0,01	0,02	0,00	0,006	0,596
0,1-0,2	PC	SP3	0,02	0,03	0,01	0,006	0,126
0,1-0,2	PC	SP4	0,01	0,03	0,01	0,007	0,358
0,1-0,2	PC	SP5	0,02	0,04	0,00	0,011	0,777
0,1-0,2	PD	SP1	0,02	0,03	0,01	0,005	0,005
0,1-0,2	PD	SP2	0,02	0,02	0,01	0,004	0,788
0,1-0,2	PD	SP3	0,02	0,04	0,01	0,007	0,017
0,1-0,2	PD	SP4	0,02	0,03	0,01	0,004	0,150
0,1-0,2	PD	SP5	0,02	0,03	0,01	0,006	0,950
0,2-0,4	PC	SP1	0,03	0,05	0,01	0,013	0,190
0,2-0,4	PC	SP2	0,03	0,06	0,00	0,019	0,486
0,2-0,4	PC	SP3	0,03	0,05	0,01	0,012	0,136
0,2-0,4	PC	SP4	0,03	0,05	0,01	0,012	0,858
0,2-0,4	PC	SP5	0,03	0,06	0,01	0,016	0,424
0,2-0,4	PD	SP1	0,04	0,07	0,03	0,012	0,004
0,2-0,4	PD	SP2	0,03	0,06	0,01	0,012	0,895
0,2-0,4	PD	SP3	0,04	0,07	0,02	0,010	0,032
0,2-0,4	PD	SP4	0,02	0,03	0,01	0,006	0,187
0,2-0,4	PD	SP5	0,04	0,06	0,02	0,012	0,732

Anexo 6. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD), representados na unidade de $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, e P-valor do teste de Shapiro Wilk ($\text{Pr}<w$) para a variável POMAT ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP, SP4 e SP5).

Camada (m)	M	SP	MÉDIA	MÁX	MÍN	DESVPAD	Pr<w
0,0-0,1	PC	SP1	0,53	0,59	0,50	0,031	0,067
0,0-0,1	PC	SP2	0,55	0,60	0,50	0,025	0,519
0,0-0,1	PC	SP3	0,56	0,59	0,44	0,040	0,000
0,0-0,1	PC	SP4	0,54	0,58	0,38	0,054	0,000
0,0-0,1	PC	SP5	0,54	0,58	0,51	0,024	0,208
0,0-0,1	PD	SP1	0,52	0,55	0,50	0,013	0,317
0,0-0,1	PD	SP2	0,52	0,56	0,49	0,022	0,082
0,0-0,1	PD	SP3	0,50	0,55	0,41	0,034	0,016
0,0-0,1	PD	SP4	0,49	0,51	0,47	0,013	0,112
0,0-0,1	PD	SP5	0,49	0,53	0,46	0,019	0,903
0,1-0,2	PC	SP1	0,49	0,53	0,46	0,026	0,023
0,1-0,2	PC	SP2	0,50	0,55	0,43	0,034	0,627
0,1-0,2	PC	SP3	0,50	0,55	0,46	0,028	0,518
0,1-0,2	PC	SP4	0,48	0,51	0,42	0,022	0,019
0,1-0,2	PC	SP5	0,47	0,51	0,44	0,022	0,721
0,1-0,2	PD	SP1	0,52	0,55	0,50	0,015	0,958
0,1-0,2	PD	SP2	0,52	0,55	0,48	0,018	0,082
0,1-0,2	PD	SP3	0,50	0,53	0,48	0,013	0,635
0,1-0,2	PD	SP4	0,51	0,54	0,49	0,013	0,084
0,1-0,2	PD	SP5	0,53	0,55	0,51	0,015	0,075
0,2-0,4	PC	SP1	0,49	0,53	0,45	0,023	0,956
0,2-0,4	PC	SP2	0,49	0,51	0,45	0,018	0,992
0,2-0,4	PC	SP3	0,50	0,57	0,45	0,034	0,307
0,2-0,4	PC	SP4	0,48	0,54	0,45	0,030	0,086
0,2-0,4	PC	SP5	0,50	0,56	0,46	0,029	0,364
0,2-0,4	PD	SP1	0,48	0,53	0,44	0,030	0,539
0,2-0,4	PD	SP2	0,48	0,53	0,45	0,028	0,223
0,2-0,4	PD	SP3	0,48	0,53	0,46	0,020	0,015
0,2-0,4	PD	SP4	0,48	0,52	0,45	0,016	0,578
0,2-0,4	PD	SP5	0,49	0,52	0,45	0,020	0,888

Anexo 7. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD), representados na unidade de $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, e P-valor do teste de Shapiro Wilk ($\text{Pr}<w$) para a variável CAMAT ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP, SP4 e SP5).

Camada (m)	M	SP	MÉDIA	MÁX	MÍN	DESVPAD	Pr<w
0,0-0,1	PC	SP1	0,16	0,22	0,09	0,048	0,160
0,0-0,1	PC	SP2	0,19	0,26	0,08	0,045	0,249
0,0-0,1	PC	SP3	0,20	0,24	0,09	0,040	0,003
0,0-0,1	PC	SP4	0,20	0,23	0,16	0,022	0,145
0,0-0,1	PC	SP5	0,16	0,22	0,11	0,043	0,094
0,0-0,1	PD	SP1	0,10	0,13	0,08	0,017	0,328
0,0-0,1	PD	SP2	0,11	0,19	0,07	0,033	0,126
0,0-0,1	PD	SP3	0,10	0,15	0,01	0,042	0,288
0,0-0,1	PD	SP4	0,07	0,10	0,04	0,020	0,788
0,0-0,1	PD	SP5	0,07	0,09	0,04	0,020	0,425
0,1-0,2	PC	SP1	0,11	0,16	0,07	0,028	0,330
0,1-0,2	PC	SP2	0,13	0,19	0,08	0,041	0,226
0,1-0,2	PC	SP3	0,13	0,22	0,08	0,048	0,222
0,1-0,2	PC	SP4	0,10	0,13	0,08	0,014	0,187
0,1-0,2	PC	SP5	0,09	0,15	0,04	0,032	0,220
0,1-0,2	PD	SP1	0,15	0,19	0,12	0,024	0,328
0,1-0,2	PD	SP2	0,14	0,18	0,10	0,022	0,933
0,1-0,2	PD	SP3	0,13	0,16	0,11	0,017	0,234
0,1-0,2	PD	SP4	0,12	0,16	0,10	0,018	0,107
0,1-0,2	PD	SP5	0,13	0,16	0,07	0,024	0,213
0,2-0,4	PC	SP1	0,13	0,17	0,07	0,026	0,845
0,2-0,4	PC	SP2	0,12	0,15	0,08	0,019	0,140
0,2-0,4	PC	SP3	0,14	0,23	0,10	0,042	0,010
0,2-0,4	PC	SP4	0,10	0,17	0,03	0,044	0,469
0,2-0,4	PC	SP5	0,14	0,20	0,09	0,031	0,648
0,2-0,4	PD	SP1	0,12	0,17	0,07	0,029	0,921
0,2-0,4	PD	SP2	0,12	0,18	0,08	0,034	0,244
0,2-0,4	PD	SP3	0,12	0,19	0,09	0,028	0,021
0,2-0,4	PD	SP4	0,11	0,16	0,08	0,023	0,598
0,2-0,4	PD	SP5	0,13	0,17	0,10	0,026	0,031

Anexo 8. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD), representados na unidade de $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, e P-valor do teste de Shapiro Wilk ($\text{Pr}<w$) para a variável CATSOLO ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP, SP4 e SP5).

Camada (m)	M	SP	MÉDIA	MÁX	MÍN	DESVPAD	Pr<w
0,0-0,1	PC	SP1	0,19	0,25	0,11	0,054	0,062
0,0-0,1	PC	SP2	0,20	0,27	0,09	0,047	0,221
0,0-0,1	PC	SP3	0,24	0,27	0,22	0,019	0,241
0,0-0,1	PC	SP4	0,23	0,24	0,20	0,017	0,011
0,0-0,1	PC	SP5	0,19	0,25	0,13	0,042	0,315
0,0-0,1	PD	SP1	0,12	0,15	0,10	0,019	0,258
0,0-0,1	PD	SP2	0,13	0,21	0,08	0,034	0,387
0,0-0,1	PD	SP3	0,13	0,16	0,08	0,030	0,260
0,0-0,1	PD	SP4	0,09	0,12	0,06	0,020	0,544
0,0-0,1	PD	SP5	0,08	0,11	0,05	0,020	0,320
0,1-0,2	PC	SP1	0,13	0,17	0,08	0,029	0,451
0,1-0,2	PC	SP2	0,14	0,21	0,09	0,042	0,145
0,1-0,2	PC	SP3	0,15	0,25	0,09	0,051	0,311
0,1-0,2	PC	SP4	0,11	0,16	0,09	0,016	0,011
0,1-0,2	PC	SP5	0,11	0,17	0,05	0,038	0,173
0,1-0,2	PD	SP1	0,17	0,21	0,14	0,024	0,207
0,1-0,2	PD	SP2	0,16	0,20	0,13	0,020	0,863
0,1-0,2	PD	SP3	0,15	0,18	0,12	0,019	0,581
0,1-0,2	PD	SP4	0,14	0,19	0,12	0,019	0,254
0,1-0,2	PD	SP5	0,15	0,18	0,10	0,020	0,434
0,2-0,4	PC	SP1	0,15	0,18	0,12	0,019	0,208
0,2-0,4	PC	SP2	0,16	0,19	0,12	0,019	0,966
0,2-0,4	PC	SP3	0,17	0,24	0,12	0,039	0,016
0,2-0,4	PC	SP4	0,13	0,20	0,05	0,047	0,137
0,2-0,4	PC	SP5	0,17	0,22	0,12	0,030	0,630
0,2-0,4	PD	SP1	0,16	0,20	0,11	0,027	0,711
0,2-0,4	PD	SP2	0,15	0,20	0,11	0,030	0,619
0,2-0,4	PD	SP3	0,16	0,23	0,13	0,031	0,073
0,2-0,4	PD	SP4	0,13	0,18	0,11	0,023	0,213
0,2-0,4	PD	SP5	0,17	0,24	0,13	0,032	0,127

Anexo 9. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD), representados na unidade de μm^2 , e P-valor do teste de Shapiro Wilk ($\text{Pr}<w$) para a variável Ka (μm^2) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP, SP4 e SP5).

Camada (m)	M	SP	MÉDIA	MÁX	MÍN	DESVPAD	Pr<w
0,0-0,1	PC	SP1	7,04	15,97	0,98	5,473	0,100
0,0-0,1	PC	SP2	8,91	14,35	0,36	4,478	0,371
0,0-0,1	PC	SP3	11,33	15,10	7,62	2,328	0,692
0,0-0,1	PC	SP4	9,40	16,43	6,23	2,861	0,070
0,0-0,1	PC	SP5	6,18	12,62	1,38	3,503	0,619
0,0-0,1	PD	SP1	2,08	5,38	0,47	1,420	0,176
0,0-0,1	PD	SP2	5,08	16,79	0,29	4,786	0,070
0,0-0,1	PD	SP3	2,70	6,31	0,60	2,023	0,109
0,0-0,1	PD	SP4	1,59	3,76	0,61	0,843	0,054
0,0-0,1	PD	SP5	1,10	3,24	0,00	1,036	0,090
0,1-0,2	PC	SP1	2,90	5,37	0,80	1,673	0,078
0,1-0,2	PC	SP2	5,98	12,43	0,50	4,289	0,152
0,1-0,2	PC	SP3	5,70	16,78	0,50	4,997	0,167
0,1-0,2	PC	SP4	2,46	7,26	0,17	2,292	0,072
0,1-0,2	PC	SP5	2,88	12,10	0,00	3,832	0,005
0,1-0,2	PD	SP1	5,42	15,14	0,45	3,888	0,143
0,1-0,2	PD	SP2	5,05	8,94	1,99	2,243	0,537
0,1-0,2	PD	SP3	3,80	10,50	0,86	2,544	0,037
0,1-0,2	PD	SP4	3,38	9,19	0,47	2,269	0,035
0,1-0,2	PD	SP5	2,82	7,35	0,96	1,905	0,015
0,2-0,4	PC	SP1	2,36	4,67	0,00	1,444	0,637
0,2-0,4	PC	SP2	3,65	6,33	0,84	1,505	0,996
0,2-0,4	PC	SP3	4,07	7,93	1,09	2,343	0,243
0,2-0,4	PC	SP4	2,51	6,89	0,00	2,320	0,206
0,2-0,4	PC	SP5	4,15	9,21	0,68	2,658	0,442
0,2-0,4	PD	SP1	4,18	8,29	0,86	2,566	0,324
0,2-0,4	PD	SP2	4,28	11,30	1,26	3,642	0,003
0,2-0,4	PD	SP3	4,26	12,00	1,01	2,954	0,036
0,2-0,4	PD	SP4	4,66	11,00	1,32	2,537	0,146
0,2-0,4	PD	SP5	3,96	17,27	1,55	4,326	0,000

Anexo 10. Média, valores máximos (MÁX), mínimos (MÍN), desvio padrão da média (DESVPAD) e P-valor do teste de Shapiro Wilk ($Pr < w$) para a variável K1 (adimensional) nos tratamentos amostrados. Os tratamentos são referentes às combinações das camadas amostradas (0,0-0,1 m, 0,1-0,2 m e 0,2-0,4 m), sistemas de preparo do solo (M), sendo estes o PD e o PC, e os sistemas de produção (SP1, SP2, SP3, SP4 e SP5).

Camada (m)	M	SP	MÉDIA	MÁX	MÍN	DESVPAD	Pr<w
0,0-0,1	PC	SP1	33,72	66,09	7,02	19,592	0,438
0,0-0,1	PC	SP2	40,98	66,38	3,92	18,234	0,421
0,0-0,1	PC	SP3	46,78	60,99	34,43	8,741	0,628
0,0-0,1	PC	SP4	41,65	75,49	26,28	13,921	0,067
0,0-0,1	PC	SP5	30,60	51,39	9,81	13,883	0,564
0,0-0,1	PD	SP1	16,87	41,75	4,71	11,465	0,067
0,0-0,1	PD	SP2	40,17	175,62	3,53	46,158	0,001
0,0-0,1	PD	SP3	19,40	42,71	6,42	11,821	0,197
0,0-0,1	PD	SP4	19,88	52,65	8,85	13,835	0,002
0,0-0,1	PD	SP5	12,06	37,87	0,00	10,737	0,109
0,1-0,2	PC	SP1	23,18	48,44	8,84	13,851	0,075
0,1-0,2	PC	SP2	39,61	74,98	5,76	25,638	0,085
0,1-0,2	PC	SP3	32,75	83,32	5,32	22,352	0,286
0,1-0,2	PC	SP4	22,20	72,20	1,64	22,367	0,007
0,1-0,2	PC	SP5	29,90	195,18	0,00	54,574	0,005
0,1-0,2	PD	SP1	30,88	85,04	3,22	20,590	0,035
0,1-0,2	PD	SP2	31,61	56,51	14,64	14,138	0,279
0,1-0,2	PD	SP3	24,91	64,08	7,17	14,744	0,039
0,1-0,2	PD	SP4	22,36	48,58	4,00	12,209	0,007
0,1-0,2	PD	SP5	18,21	40,49	6,84	10,074	0,046
0,2-0,4	PC	SP1	14,85	28,08	0,00	8,940	0,332
0,2-0,4	PC	SP2	23,39	42,41	6,80	10,228	0,761
0,2-0,4	PC	SP3	24,64	54,94	7,56	15,114	0,029
0,2-0,4	PC	SP4	16,07	45,11	0,00	15,083	0,121
0,2-0,4	PC	SP5	24,23	52,96	5,56	14,629	0,301
0,2-0,4	PD	SP1	25,11	49,89	7,72	13,618	0,662
0,2-0,4	PD	SP2	25,82	56,76	9,78	17,476	0,014
0,2-0,4	PD	SP3	26,23	60,74	7,83	15,505	0,344
0,2-0,4	PD	SP4	34,19	67,34	12,50	15,901	0,683
0,2-0,4	PD	SP5	21,86	73,39	12,03	17,529	<0,0001