

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E AGRONÔMICOS  
DO MILHO EM SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO**

**KAMILA BORGES CASTILHO**

**DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL  
2015**

# **ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E AGRONÔMICOS DO MILHO EM SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO**

Kamila Borges Castilho

Bióloga

Orientador: PROF. DR. JORGE WILSON CORTEZ

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Mestre.

**DOURADOS - MATO GROSSO DO SUL  
2015**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).**

C352a	<p>Castilho, Kamila Borges. Atributos físicos, químicos e agronômicos do milho em sistemas de manejo do solo. / Kamila Borges Castilho. – Dourados, MS : UFGD, 2015. 55f.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Grande Dourados.</p> <p>1. Mecanização Agrícola. 2. Multivariada. 3. Geoestatística. I. Título.</p> <p>CDD – 633.15</p>
-------	---

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.**

**©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte.**

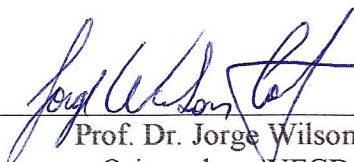
**“Atributos físicos, químicos e agronômicos do milho em sistemas de manejo do solo”**

por

**KAMILA BORGES CASTILHO**

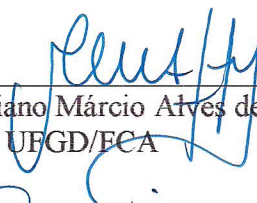
Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título  
de MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Aprovada em: 26/02/2015



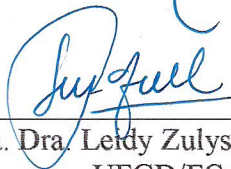
---

Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez  
Orientador – UFGD/FCA



---

Prof. Dr. Cristiano Márcio Alves de Souza  
UFGD/FCA



---

Profa. Dra. Leidy Zulys Leyva Rafull  
UFGD/FCA

*A minha família, que sempre me  
incentivaram a buscar o conhecimento  
e a todos aqueles que desejaram  
minha vitória.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar forças e motivação em todos os momentos.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

A UFGD – Universidade Federal da Grande Dourados

Ao programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola da FCA.

Ao meu orientador Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez, pela paciência, por confiar e aceitar me orientar, contribuindo para minha formação pessoal e profissional.

Aos professores(as) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e aos professores Dr. Rodrigo Pereira e a Dra. Liliam Candido do curso de Ciências Biológicas, que me ajudaram e tiveram paciência em me ensinar tudo que era totalmente novo para mim.

A minha família, por compreender minha ausência, por torcer por mim e estarem sempre dispostos a me ajudar.

Ao meu marido, que esteve todo tempo ao meu lado, me ajudando desde o início dessa jornada.

Aos meus amigos e amigas pelo apoio e incentivo, em especial as minhas amigas Camila Missio e Thamires Kelly Alves que me ajudaram com minha dissertação.

Aos meus colegas Eduardo Zanetti Lage, Jorge Murgi Filho, Rafael Schossler Matos e Rodrigo Chaves Gonçalves por me ajudarem com algumas coletas de campo.

Aos trabalhadores de campo da Fazenda Experimental, senhor Jesus, Milton, Dhol, Dholzinho e a todos os outros que me ajudaram muito durante as coletas.

A todos os alunos e bolsistas que me ajudam durante algumas coletas de campo.

A todos, **MUITO OBRIGADA!**

Para descobrir todos os fenômenos que deseja, basta ao sábio três coisas: Pensar,  
Pensar, Pensar. Sir Isaac Newton (1642-1727)

## SUMÁRIO

	<b>Páginas</b>
1. INTRODUÇÃO.....	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1    Sistemas de manejo do solo .....	9
2.2    Relação máquina-solo-planta .....	11
3 MATERIAL E MÉTODO .....	14
3.1    Local.....	14
3.2    Equipamentos e insumos.....	16
3.3    Delineamento experimental .....	17
3.4    Atributos do solo .....	17
3.4.1    Atributos químicos do solo .....	17
3.4.2    Densidade e porosidade do solo.....	18
3.4.3    Umidade do solo .....	18
3.4.4    Resistência mecânica do solo à penetração .....	19
3.5    Atributos agronômicos da cultura do milho.....	20
3.5.1    Diâmetro do caule, altura de plantas e inserção da primeira espiga ....	20
3.5.2    Produtividade .....	20
3.6    Análise dos dados.....	21
3.6.1    Análise de variância e teste de Tukey.....	21
3.6.2    Análise geostatística da resistência mecânica do solo à penetração ..	21
3.7    Análise multivariada .....	22
4 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	24
4.1    Atributos químicos .....	24
4.2    Atributos físicos .....	33
4.2.1    Densidade e porosidade do solo.....	33
4.2.2    Resistência mecânica do solo à penetração (RP).....	35
4.3    Atributos agronômicos da cultura do milho.....	43
5 CONCLUSÕES .....	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45



CASTILHO, K.B. **Atributos físicos, químicos e agronômicos do milho em sistemas de manejo do solo.** 55f. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

## RESUMO

As técnicas que visam promover o equilíbrio entre a física e química do solo, vem ganhando espaço, ao modo que fica visível o aumento da produtividade em solos mais estruturados. Objetivou-se avaliar os sistemas de manejo do solo por meio de seus atributos físicos, químicos e agronômicos da cultura do milho. Os tratamentos consistiram em seis sistemas de manejo distribuídos em quatro blocos, sendo: sem preparo (T0), uma operação de escarificação (T1), duas escarificações e uma gradagem niveladora para quebrar torrões e nivelar o solo (T2), uma aração e quatro gradagens destorroadora-niveladora (T3), uma gradagem destorroadora-niveladora (T4) e uma operação de escarificação e uma gradagem destorroadora-niveladora (T5). Para a análise dos dados foram utilizadas as técnicas da estatística descritiva, multivariada e geoestatística. Na profundidade de 0,00-0,10 m, com exceção do sistema T3 que apresentou os menores valores de P e Mg, as operações de preparo não afetaram os níveis de P, K, Ca, Mg, SB e V%, dos demais sistemas, sendo estes considerados altos. Todos os sistemas, na profundidade de 0,10-0,20 m, apresentaram valores baixos de K. Os valores de Ca e Mg foram considerados altos, sendo maior para T0, T2 e T4 e menor para T5. Na análise multivariada, verificou-se que o manejo do solo influenciou a similaridade entre os sistemas T3 e T0 na profundidade de 0,00-0,10 m e que o grupo T4 e T2 apresentaram melhor qualidade química, sendo influenciado pelos maiores valores de Ca, Mg, SB, CTC e V%. Os subgrupos T2, T3, T4 e T0, na profundidade de 0,10-0,20 m, apresentaram melhor qualidade ambiental, sendo influenciados pelos atributos K, SB, Mg, CTC, V%, MO e pH. Na física do solo, a densidade, microporosidade e porosidade total foi adequada para todos os sistemas e profundidade, somente a macroporosidade apresentou limites críticos de aeração. Na resistência mecânica a penetração (RP), os sistemas que receberam as operações de aração e escarificação não apresentaram valores altos de RP na superfície e foi observado efeito descompactador da haste sulcadora da semeadora na linha de semeadura. Na análise geoestatística, verificou baixa variação dos dados da RP em relação à média, com semivariograma esférico e com grau de dependência espacial forte no perfil e nos mapas da RP no perfil do solo, os sistemas T0 e T4 apresentaram valores altos de RP na superfície do solo. Nos sistemas de manejo, os atributos agronômicos do milho não tiveram diferenças significativas.

**Palavras-chave:** mecanização agrícola, multivariada, geoestatística

CASTILHO, K. B. **Physical, chemical and agricultural corn in management systems**. 55f. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

### ABSTRACT

Techniques to promote a balance between the physical, chemical and soil microbiology, is gaining its space, so that is visible productivity growth in more structured soils. It was aimed to evaluate the systems of soil management via their physical and chemical attributes and agronomic characteristics of the maize crop. The treatments were six soil management systems divided in four stages, as follows: without preparation (T0), chiseling operation (T1), two scarification and a leveling disk harrow to break clods and level the ground (T2), plowing and harrowing four destorroadora-leveling (T3), one destorroadora-leveling harrowing (T4) and a scarification operation and a destorroadora-leveling harrowing (T5). For data analysis techniques were used descriptive statistics, multivariate and geostatistical. In the depth of 0,00-0,10 m, with the exception of T3 system that had the lowest values of P and Mg, the preparation of operations did not affect the levels of P, K, Ca, Mg, SB and V%, the other systems, which are considered high. In the depth of 0,10-0,20 m, all systems had low values of K. Ca and Mg values were high, higher for T0, T2 and T4 and T5 for less. Al values were considered average and the MO was considered low at both depths. In the multivariate analysis, it was found that the soil management influenced the similarity between T0 and T3 systems at a depth of 0,00-0,10 m that the T4 and T2 group had a better chemical quality, being influenced by higher Ca, Mg, SB, CEC and V%. In the depth of 0,10-0,20 m, subgroups T2, T3, T4 and T0 had better environmental quality, being influenced by the attributes K, SB, Mg, CTC, V%, MO and pH. In soil physics, density, microporosity and porosity was adequate for all systems and depth, only the macroporosity critical limits aeration. The mechanical resistance to penetration (RP) systems receiving the operations of plowing and scarification did not show high values of PR on the surface and was observed a decompressing effect of the drill shank in the row. In geostatistical analysis showed low variation of RP data from the average, with spherical semivariogram and degree of strong spatial dependence profile and maps of PR in the soil profile, the T0 and T4 systems showed high values of PR on the surface soil. In management systems, the agronomic characteristics of corn did not differ significantly.

**Key words:** agricultural mechanization, multivariate, geostatistics

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de milho no Brasil, tem-se caracterizado pela divisão da produção em duas épocas, as semeaduras de verão (primeira safra) e os de inverno (segunda safra).

Segundo a Conab (2014), o milho total (primeira e segunda safras) sofreu queda de 3,6% (cerca de 3 milhões de Mg), devendo chegar a 78,55 milhões de Mg. A redução é reflexo da diminuição da primeira safra, uma vez que a semeadura da segunda safra se manteve estável. De acordo com o terceiro levantamento da Conab em 2013, a competição por área entre soja e milho nos últimos anos, tem ocorrido em desfavor do cereal, em virtude, entre outras razões, dos positivos resultados observados na comercialização da oleaginosa, representada pela maior liquidez e pelos elevados custos de produção da lavoura de milho.

No intuito de conservar as características físicas, químicas e microbiológicas do solo para minimizar os impactos que podem ser causados pelas operações de preparo das culturas, medidas como conhecer o histórico da região onde será implantada a cultura; evitar tráfego de veículo em solos úmidos; diminuir o número de passagem dos maquinários e manejar a matéria orgânica de modo a permitir que o solo não fique exposto são passos importantes para garantir a qualidade do solo.

Outras estratégias são utilizadas para a proteção do solo, como a adoção de sistemas de manejo que visam o mínimo revolvimento do solo, mantendo a matéria orgânica sobre a superfície, garantindo a proteção do meio físico, a disponibilidade de nutrientes pela decomposição da matéria orgânica e melhor desenvolvimento das culturas.

Portanto, objetivou-se avaliar os sistemas de manejo do solo por meio dos atributos físicos e químicos, e agronômicos da cultura do milho.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Sistemas de manejo do solo

A prática do cultivo do solo altera suas propriedades físicas em relação ao solo não cultivado, sendo mais visíveis nos sistemas convencionais de preparo do que nos conservacionistas, sendo possível verificar alterações na densidade do solo, volume e distribuição de tamanho dos poros e estabilidade dos agregados do solo, influenciando a infiltração da água, erosão hídrica e desenvolvimento das plantas (BERTOL et al., 2004).

De acordo com Centurion & Demattê, (1992):

Dentre as técnicas modernas, a mecanização intensa tem sido uma constante. Entretanto, muitas vezes a produtividade é comprometida pelo excesso ou pela inadequação de práticas a qual o solo é submetido, desde o seu preparo até a colheita da cultura. Embora o objetivo do preparo do solo seja alterar algumas de suas propriedades físicas, conferindo-lhe novas condições que favoreçam o crescimento e desenvolvimento das plantas, via de regra tem proporcionado deterioração dessas propriedades.

Segundo Santiago & Rosseto (2014), “O preparo convencional do solo consiste no revolvimento de camadas superficiais para reduzir a compactação, incorporar corretivos e fertilizantes, aumentar os espaços porosos e, com isso, elevar a permeabilidade e o armazenamento de ar e água”

O preparo convencional consiste da aração e gradagens, no qual o arado efetua o corte, elevação, inversão e queda, com um efeito de esboroamento de fatias de solo denominadas de leivas (GABRIEL FILHO et al., 2000). A grade complementa esse trabalho, diminuindo o tamanho dos torrões na superfície, além de nivelar o terreno. Entretanto, tal prática pode acarretar sérios problemas com o passar dos anos, principalmente se não for feita com critério.

Para Muzarana et al., 2011, o preparo reduzido do solo, semeadura direta e escarificação esporádica em áreas de lavoura vêm sendo adotados para substituir o preparo convencional, a fim de mitigar problemas de degradação do solo.

Segundo Richart et al., (2005), afirma que:

Na tentativa de solucionar os problemas decorrentes do preparo convencional, surgiram os preparos conservacionistas, que proporcionam menor mobilização do solo e mantêm maior proteção da superfície do solo com os resíduos culturais. O plantio direto e o cultivo mínimo são tipos de manejo conservacionista que procuram minimizar a mobilização do solo. No entanto, mesmo com a ausência de revolvimento do solo, têm sido diagnosticados problemas de compactação superficial do solo.

“Pode-se considerar que tanto o preparo reduzido quanto o sistema plantio direto, que é um tipo de preparo na linha com mínima mobilização do solo, podem ser enquadrados como preparo conservacionista” (CARVALHO FILHO et al., 2007).

O sistema plantio direto é o processo de semeadura em solo não preparado, ou seja, não revolvido, no qual a semente é colocada em sulcos ou covas, com largura e profundidade suficientes para a adequada cobertura e contato delas com o solo (CRUZ et al., 2001). O sucesso deste sistema está no fato de que a palhada, deixada por culturas de cobertura sobre a superfície do solo, junto aos resíduos de outras culturas, cria um ambiente favorável ao crescimento vegetal e contribui para a estabilização da produção e para a recuperação e manutenção da qualidade do solo (ALVARENGA et al., 2001).

O aumento da densidade do solo em lavouras sob sistema plantio direto, pode ser considerado como uma consequência normal da técnica utilizada. No entanto, a produtividade muitas vezes não é prejudicada, devido a maior continuidade dos poros, que é uma importante característica que afeta a aeração do solo, a infiltração de água e a penetração de raízes (REICHERT et al., 2003).

No sistema de preparo reduzido, os efeitos da compactação tendem a ser mais persistentes do que em sistemas com preparo do solo, pois o revolvimento pelo preparo convencional reduz, os efeitos da compactação na camada arável a cada ano de preparo (REICHERT et al., 2003).

## 2.2 Relação máquina-solo-planta

Nos tempos atuais, a agricultura moderna é caracterizada pela busca constante do aumento da produtividade das culturas agrícolas por meio da utilização da mecanização, irrigação, adubação química e aplicação de pesticidas, aliadas ao melhoramento dos genótipos vegetais. Entretanto, apesar desse cenário otimista, o impacto ambiental causado pela intensificação da exploração agrícola nem sempre recebeu a atenção necessária. A constatação do aumento de áreas agrícolas degradadas tem levado a uma mudança de concepção do uso do solo, baseada em uma visão holística do processo agrícola, onde os recursos naturais (solo, água e biodiversidade) são explorados de forma mais sustentável (ZILLI et al., 2003).

Segundo a definição de Reinert et al., (2006), sobre a preocupação com a qualidade do solo:

A busca da definição e caracterização do que seja um solo de boa qualidade é antiga e data de muitos séculos passados. A ciência do solo foi criada e desenvolvida categorizando e designando a qualidade dos solos e das terras ou paisagens associadas, indicando, portanto, vasta experiência acumulada na sua medição e percepção. Todavia, na última década os cientistas de solos têm se preocupado, predominantemente, com dois aspectos: identificar e selecionar indicadores associados a determinadas funções que o solo deve desempenhar e definir valores quantitativos e mensuráveis desses indicadores.

A compactação do solo tornou-se uma preocupação, em vista do aumento da mecanização nas atividades agrícolas, que acarreta alteração no arranjo das partículas do solo, tornando-o mais denso. O aumento da resistência mecânica ao crescimento radicular, redução da aeração e da disponibilidade de água e nutrientes, e o decréscimo na produtividade agrícola são os principais efeitos negativos da compactação do solo (GOEDERT et al., 2002).

Mesmo com a adoção de práticas conservacionistas como o plantio direto, a compactação do solo continua provocando alterações nas propriedades físicas e a causa desta compactação neste sistema de cultivo é atribuída ao tráfego de máquinas agrícolas em condições de alta umidade no solo (RICHART et al., 2005).

Para diminuir a compactação, deve-se considerar a relação solo-máquina/animal-planta. Modificações nas máquinas agrícolas resumem-se em

diminuir a pressão de ar dos pneus, aumentar a largura dos mesmos, utilizar pneus de carcaça mais flexíveis (radiais), limitar o peso por eixo e evitar o patinamento excessivo. Em relação ao solo, devesse considerar a umidade do mesmo para realizar as operações de preparo, tratos culturais, colheita e transporte. No manejo, devem integrar a rotação de culturas espécies vegetais que produzam grande massa radicular e cujas raízes possuam a habilidade de penetrar em camadas compactadas. A decomposição dessas raízes deixa poros contínuos e de maior estabilidade, que aumentam a infiltração de água e as trocas gasosas (REICHERT et al., 2003).

Freddi (2007), submetendo o solo a níveis de compactação, verificou redução de altura das plantas, diâmetro do colmo, massa de matéria seca das plantas e produtividade do milho de 12, 13, 28 e 38 % respectivamente, em um Latossolo Vermelho de textura média com o aumento da resistência do solo à penetração de 1,65 a 4,81 MPa; e de 10, 15, 24 e 27 % em um Latossolo Vermelho de textura argilosa com o aumento da resistência do solo à penetração de 0,32 a 1,83 MPa.

Utilizando a técnica de análise multivariada na avaliação de componentes principais, Freddi et al. (2008) verificaram que elevadas taxas de produtividade do milho mostravam-se correlacionadas com o bom crescimento da parte aérea das plantas, em condições de menor densidade do solo, proporcionando elevada produção de matéria seca das raízes, entretanto, de pequeno diâmetro. A qualidade física do Latossolo Vermelho de textura média para o cultivo do milho, foi assegurada até o valor de densidade do solo de  $1,38 \text{ Mg m}^{-3}$ .

Freddi et al. (2009), ao avaliar dois híbridos de milho em um Latossolo Vermelho distrófico de textura média hipoférrico submetido a níveis de compactação, constataram que o aumento da resistência a penetração do solo de 0,87 à 2,15 MPa na profundidade de 0,0-0,20 m reduziu linearmente a altura de plantas, diâmetro do colmo, a massa de matéria seca das plantas e a produtividade de grãos em 8,13, 26 e 23% respectivamente.

Foloni et al. (2003), verificaram que o diâmetro médio do colmo das plantas de milho aumentaram significativamente com a compactação do Latossolo Vermelho distroférico, podendo o engrossamento das raízes das plantas de milho na camada compactada ser um indicativo de que esta espécie tem pouco potencial para estabelecer o seu sistema radicular em solos compactados.

Bergamin et al. (2010), ao avaliar a relação entre a estrutura anatômica das raízes de milho e os atributos físicos de solo submetido a graus de compactação, em um Latossolo Vermelho distroférico, constataram que o grau de compactação afeta a anatomia radicular do milho, pois as raízes do milho crescem pelos macroporos e estes sofreram uma expressiva diminuição nos sistemas com maior índice de compactação.

Ao avaliar os efeitos da compactação sobre determinadas características de um Latossolo Vermelho textura média e associá-las ao crescimento radicular e à produtividade da cultura do milho em uma área com seis níveis de compactação, proporcionados pelo tráfego controlado de tratores, Freddi et al. (2007) constataram que valores de resistência à penetração variando entre 1,03 e 5,69 MPa provocaram alterações na morfologia do sistema radicular do milho, reduzindo a produtividade da cultura em 2,581 Mg ha<sup>-1</sup>, porém não foram impeditivos ao enraizamento.

Mahl et al. (2008), ao avaliarem a influência da operação da escarificação ao longo do tempo sobre a estrutura de um solo em plantio direto nas profundidades de 0,05 a 0,40 m, assim como os seus efeitos sobre a produtividade do milho em um Nitossolo Vermelho, verificaram que o preparo do solo com uso de escarificador comparado ao plantio direto não influenciou a produtividade do milho, sugerindo que os valores de resistência do solo à penetração de até 3,14 MPa não foram impeditivos ao desenvolvimento da cultura do milho.

Boller et al. (1998), avaliando a viabilidade da implantação da cultura do milho em solo sob preparo reduzido em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico e comparando com outros cinco tratamentos preparados por meio de uma operação conjugada (escarificador equipado com rolo destorroador) e utilizando como testemunha uma área preparada com uma escarificação e mais gradagem leve, constataram que a implantação da cultura do milho em uma condição de preparo reduzido do solo, obtida por meio da conjugação de um escarificador com um cilindro destorroador de dentes com giro livre, foi uma alternativa viável, quando comparada com a mesma operação em solo preparado com escarificador seguido por uma gradagem leve.

Moreira et al. (1985) avaliando a produtividade do milho em sistemas de manejo (cultivo convencional, cultivo reduzido e plantio direto) em um Podzólico Vermelho-Amarelo Orto, constataram que os sistemas de manejo não afetaram a produtividade da cultura do milho.



### 3 MATERIAL E MÉTODO<sup>1</sup>

#### 3.1 Local

O trabalho foi conduzido na FAECA – Fazenda Experimental de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD no município de Dourados, MS. O local situa-se em latitude de 22°14'S, longitude de 54 °59'W e altitude de 434 m. O clima é do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen. O solo da área é um Latossolo Vermelho distroférico, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). Na Tabela 1 é apresentada a análise granulométrica do solo.

Tabela 1. Granulometria e densidade de partículas (DP) do Latossolo Vermelho da Fazenda Experimental da UFGD, Dourados (2013).

Camadas (m)	Argila	Silte	Areia	DP g cm <sup>-3</sup>
	-----%-----			
0,00-0,10	59,78	21,73	18,49	2,75
0,10-0,20	59,26	22,24	18,50	2,69
0,20-0,30	62,31	19,79	17,91	2,84
0,30-0,40	62,83	20,23	16,94	2,75
0,40-0,50	64,31	18,90	16,79	2,69
0,50-0,60	64,86	19,72	15,42	2,79

Fonte: RODRIGUES (2014)

Tabela 2. Atributos químicos do Latossolo Vermelho distroférico.

Atributos	Camadas (m)	
	0-0,20	0,20-0,40
PH CaCl <sub>2</sub>	5,04	4,89
PH H <sub>2</sub> O	5,80	5,63
P (mg dm <sup>-3</sup> )	6,58	3,36
K (mmol dm <sup>-3</sup> )	4,6	3,0
Al (mmol dm <sup>-3</sup> )	3,6	4,8
Ca (mmol dm <sup>-3</sup> )	57,0	49,0
Mg (mmol dm <sup>-3</sup> )	17,0	15,0
H+Al (mmol dm <sup>-3</sup> )	32,6	27,8
SB (mmol dm <sup>-3</sup> )	78,59	67,01
T (mmol dm <sup>-3</sup> )	111,2	94,8
V%	70,7	70,7

SB: soma de bases; V: saturação por bases do solo; T: capacidade de troca de cátions a pH 7,0.

<sup>1</sup> A citação de marcas comerciais não implica na recomendação de uso pelo autor.

A área experimental foi conduzida por mais de 10 anos sob sistema plantio direto até março de 2013. Antes da instalação deste experimento a área foi preparada com arado de discos (0,30 m de profundidade), seguido de gradagem destorroadora-niveladora (0,15 m de profundidade), seguido de subsolagem com equipamento de 5 hastes (0,50 m de profundidade) e nova gradagem destorroadora-niveladora (0,15 m de profundidade) para nivelar o terreno. Para as operações de preparo utilizou-se de trator Massey Ferguson MF292, 4x2 TDA, com 67,71 kW (92 cv) de potência nominal no motor a uma rotação de 2400 rpm, pneu dianteiro medindo 14.9-24 R1 e traseiro 18.4-34 R1, e peso do maquinário de 4,932 kg.

Para estabelecer uma cultura de cobertura na área foi semeada aveia (60 sementes por metro a 0,04 m de profundidade e espaçamento de 0,20 m entre linhas) no dia 21 de maio de 2013, a qual posteriormente foi dessecada e manejada com triturador de palhas. Na safra 2013/2014, no verão, foi semeada a cultura da soja e posteriormente na safrinha de 2014 a semeadura do milho, foco deste experimento.

Os dados meteorológicos durante o período de condução do experimento são provenientes da estação meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste (temperaturas) e os dados de chuva de um pluviômetro colocado na fazenda experimental da UFGD (Figura 1).

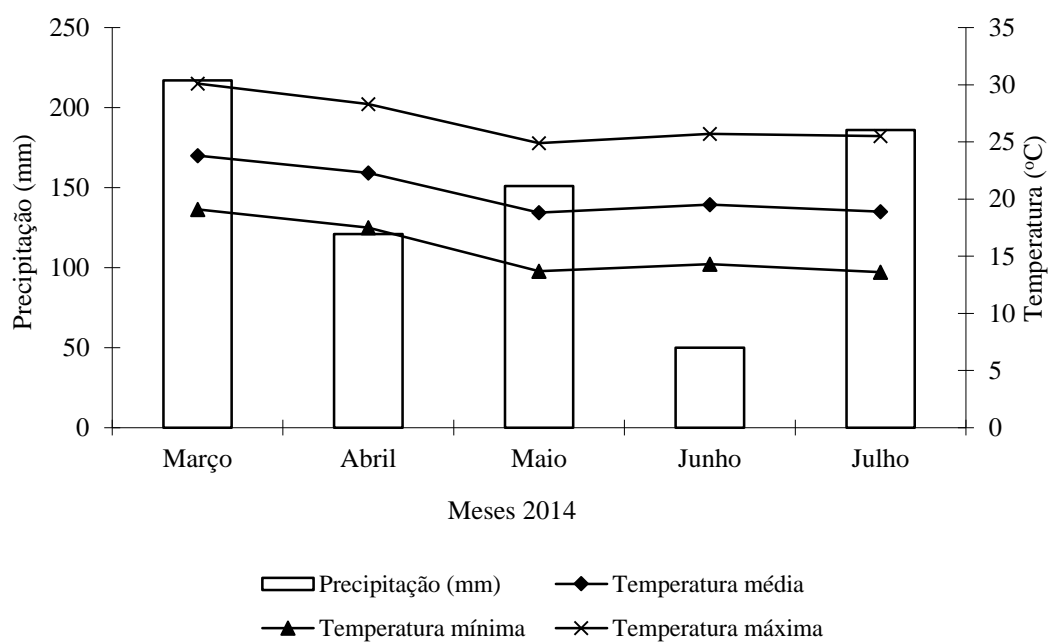


Figura 1. Dados meteorológicos mensais (precipitação pluviométrica - UFGD e temperatura – Embrapa Agropecuária Oeste) de 2014.

### 3.2 Equipamentos e insumos

Após o manejo da cultura de cobertura da área utilizou-se no preparo das parcelas dos sistemas de manejo do solo um escarificador de cinco hastes, com ponteira estreita de 0,08 m; arado de aiveca recortada; grade destorroadora-niveladora, tipo off-set, de arrasto, com 20 discos de 0,51 m de diâmetro (20") em cada seção, sendo na seção dianteira discos recortados e lisos na traseira. Para as operações de preparo utilizou-se de trator Massey Ferguson MF292, 4x2 TDA, com 67,71 kW (92 cv) de potência nominal no motor a uma rotação de 2400 rpm, pneu dianteiro medindo 14.9-24 R1 e traseiro 18.4-34 R1, e peso do maquinário de 4,932 kg; e um trator New Holland 8030 4x2 TDA com 89,79 kW (122 cv) de potência nominal no motor a uma rotação de 2200 rpm, pneu dianteiro medindo 14.9-28 R1 e traseiro 23.1-30 R1, e peso do maquinário de 4,510 kg, sendo utilizado nas na operação de escarificação e sementeira.

Utilizou-se semeadora-adubadora com dosador tipo discos horizontais perfurados, haste sulcadora para adubo, possuindo cinco linhas para o milho, com dosador de adubo tipo helicóide, rodas duplo angulada (V) para compactação. A semeadora foi regulada para distribuir 5 sementes por metro, com 98% de pureza e 85% de germinação, na profundidade de 0,05 m do híbrido BRS1010 no dia 10 de março de 2014.

Em setembro de 2013, efetuou-se a calagem do solo, com a aplicação de 3000 kg ha<sup>-1</sup> de calcário Dolomítico<sup>®</sup> que posteriormente foi incorporado conforme cada sistema de manejo. Utilizou-se o fertilizante 8-20-20 na regulagem de 260 kg ha<sup>-1</sup> na sementeira, e na adubação de cobertura ureia na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup>. A área foi previamente dessecada com Glyfosato<sup>®</sup> (3 L ha<sup>-1</sup>), que contém 48,0% m/v de glifosato. Os herbicidas aplicados foram Atrazina<sup>®</sup> 0,4 L h<sup>-1</sup> e Sanson<sup>®</sup> 0,1 L h<sup>-1</sup>, que possuem como princípio ativo a atrazina (50,0% m/v) e o nicosulfurom (4,0% m/v) respectivamente. O inseticida foi o Lanatte<sup>®</sup>, sendo aplicado 0,6 L h<sup>-1</sup>, que contém 21,5% m/v de metomil como princípio ativo.

### 3.3 Delineamento experimental

O preparo das parcelas ocorreu antes da semeadura da soja de verão em setembro de 2013. Após a colheita da soja, o milho foi semeado em sistema de semeadura direta, sem revolvimento das parcelas. Cada parcela experimental ocupou uma área de 15 x 19 m (285 m<sup>2</sup>). No sentido longitudinal entre as parcelas, foi reservado um espaço de 12 m, destinado à realização de manobras, tráfego de máquinas e estabilização dos conjuntos.

Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso em quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por seis sistemas de manejo: sem preparo (T0), uma operação de escarificação (T1), duas escarificações e uma gradagem niveladora para quebrar torrões e nivelar o solo (T2), uma aração e quatro gradagens destorroadora-niveladora (T3), uma gradagem destorroadora-niveladora (T4) e uma operação de escarificação e uma gradagem destorroadora-niveladora (T5) (Tabela 3). As operações foram realizadas antes da cultura de verão.

Tabela 3. Tratamentos com suas respectivas operações e profundidades.

Tratamentos	Número de operações	Profundidade (m)
T0	Sem preparo	---
T1	Uma escarificação	0,40 m
T2	Duas escarificações e uma gradagem	0,40 e 0,15 m
T3	Uma aração e quatro gradagens	0,40 e 0,15 m
T4	Uma gradagem	0,15 m
T5	Uma escarificação e uma gradagem	0,40 e 0,15 m

Sem preparo (T0), uma operação de escarificação (T1), duas escarificações e uma gradagem niveladora para quebrar torrões e nivelar o solo (T2), uma aração e quatro gradagens destorroadora-niveladora (T3), uma gradagem destorroadora-niveladora (T4) e uma operação de escarificação e uma gradagem destorroadora-niveladora (T5).

### 3.4 Atributos do solo

#### 3.4.1 Atributos químicos do solo

As amostras foram coletadas nas camadas de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m para determinação dos atributos químicos, segundo metodologia proposta por Claessen (1997). Os atributos químicos avaliados foram: pH em água; teor de matéria orgânica

(MO); teores de cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e alumínio (Al) trocáveis; fósforo (P) disponível em Mehlich<sup>1</sup> e acidez potencial (H+Al). A partir destas determinações, foram calculados a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC), e a saturação por bases (V%).

### 3.4.2 Densidade e porosidade do solo

As amostras indeformadas para avaliação de densidade foram coletadas em cada parcela utilizando anéis volumétricos que apresentam uma das bordas cortantes, com volume de 104,06 cm<sup>3</sup>. As amostras de solo foram coletadas em um ponto aleatório dentro de cada parcela nas camadas de 0-0,05, 0,10-0,15, 0,20-0,25 m. Após serem coletadas, as amostras de solo foram secas na estufa à temperatura de 105 - 110° C até a massa constante segundo metodologia da Claessem (1997). Depois de serem secas, as amostras foram pesadas, para a obtenção dos valores necessários no cálculo da densidade do solo empregando-se a Equação 1.

$$D_s = \frac{M}{V} \text{ em que } M = MSA - TA \quad (1)$$

Em que: D<sub>s</sub>: densidade em (g cm<sup>-3</sup>); V: volume total (cm<sup>3</sup>); M: massa do solo (g); MSA: massa seca do solo mais o peso do anel (g); TA: peso do anel sem solo (g).

A microporosidade foi determinada nas amostras, coletadas com o auxílio de anéis volumétricos (anel de Kopeck) previamente saturadas, utilizando-se mesa de tensão com 60 cm de altura de coluna de água, sendo a macroporosidade obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade (CLAESSEN, 1997).

### 3.4.3 Umidade do solo

Coletou-se amostras deformadas nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; 0,40-0,50 e 0,50-0,60 m de modo aleatório nas parcelas. Foi determinado pelo método gravimétrico, conforme Kiehl (1979) e Claessen (1997).

$$TMA = \frac{(MI - MII)}{(MII - TA)} \times 100 \quad (2)$$

Em que: TMA: umidade do solo em %; MI: massa úmida de solo mais o peso da lata (g); MII: massa seca de solo mais o peso da lata (g); e TA: peso da lata em (g).

Na Tabela 4 é apresentada a umidade do solo no momento da coleta de dados de resistência à penetração.

Tabela 4. Umidade do solo no momento da coleta da resistência mecânica do solo à penetração (RP).

Camada (m)	Umidade do solo (%)
	RP1*
0,00-0,10	20,42
0,10-0,20	19,24
0,20-0,30	21,85
0,30-0,40	25,56
0,40-0,50	28,01
0,50-0,60	29,75

#### 3.4.4 Resistência mecânica do solo à penetração

Coletou-se dados da resistência mecânica do solo à penetração (RP), por meio de um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf, adaptado pela KAMAQ (STOLF et al., 2011), com as seguintes características: massa de 4 kg com impacto em curso de queda livre de 0,40 m; cone com 0,0128 m de diâmetro e ângulo sólido de 30°; e haste com diâmetro aproximado de 0,01 m.

Com o intuito de identificar zonas de maior RP no perfil após o tráfego, foram coletados dados a cada 0,45 m de largura x 0,10 m de profundidade dentro da faixa de tráfego (cinco linhas da semeadora), totalizando 54 pontos amostrais (Figura 2).

Os dados de RP foram coletados até a profundidade de 0,60 m e transformados para MPa (STOLF, 1991). Foram analisados os dados de RP na linha e entrelinha para cada sistema de manejo.

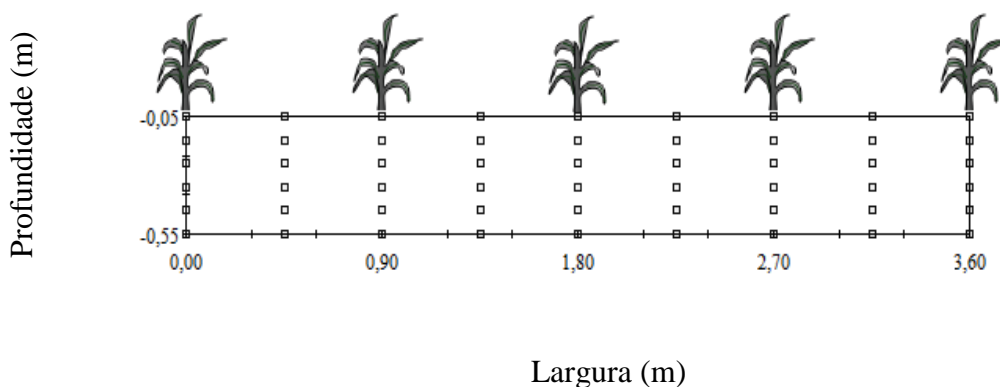


Figura 2. Esquema da grade amostral do perfil do solo para coleta da resistência à penetração.

### 3.5 Atributos agronômicos da cultura do milho

#### 3.5.1 Diâmetro do caule, altura de plantas e inserção da primeira espiga

O diâmetro do colmo foi obtido após efetuar a medição em três plantas de modo aleatório em cada parcela, tomando como base a região do colo da planta ( $\pm 5$  cm de altura). Utilizou-se para determinação do diâmetro do caule, um paquímetro com precisão de 0,1 mm.

A altura de plantas foi determinada pela medição de três plantas aleatoriamente na parcela, tendo como base o ponto de inserção da folha bandeira, e os valores expressos em média.

A determinação da altura de inserção da primeira espiga (AIPE) foi avaliada pela medição de três plantas consecutivas na fileira central, de modo aleatório dentro de cada parcela.

#### 3.5.2 Produtividade

Após a coleta das espigas, as mesmas foram trilhadas e pesadas separadamente por parcela e seus valores corrigidos para 13% de umidade obtendo o valor da produtividade. Os dados foram corrigidos considerando o estande de plantas por hectare (55.000 plantas por hectare).

### **3.6 Análise dos dados**

#### **3.6.1 Análise de variância e teste de Tukey**

A análise dos dados foi realizada pela análise de variância e posteriormente, quando significativo, com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, para comparação de médias dos dados de solo (atributos químicos, densidade, microporosidade, macroporosidade e porosidade total do solo) e planta (diâmetro, altura da planta, altura de inserção da espiga, e produtividade).

#### **3.6.2 Análise geostatística da resistência mecânica do solo à penetração**

Inicialmente, os dados de RP foram analisados por meio da estatística descritiva, segundo Vieira et al. (2002), obtendo-se média, variância, coeficiente de variação, assimetria e curtose. Foi utilizado o teste Ryan-Joiner para verificar a normalidade dos dados.

Para verificação da dependência espacial, interpolação dos dados de resistência à penetração e construção de mapas foi empregada a análise geostatística. Foi construído o semivariograma, partindo das pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca e do cálculo da função semivariância. Foi calculado o semivariograma para analisar a dependência espacial. O ajuste do semivariograma foi efetuado considerando-se o maior valor do coeficiente de determinação ( $r^2$ ), menor valor da soma de quadrados dos desvios (RSS) e maior valor do avaliador de dependência espacial (ADE).

O ajuste do semivariograma foi realizado verificando-se visualmente os modelo e os parâmetros que melhor se ajustou e colocando-os a prova da validação cruzada, observando o valor do coeficiente angular. O semivariograma experimental fornece estimativas dos parâmetros: efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C_0 + C$ ) e alcance. O efeito pepita ( $C_0$ ) é o parâmetro do semivariograma que indica a variabilidade não explicada dos modelos, considerando a distância ( $h$ ) de amostragem utilizada. O semivariograma apresenta efeito pepita puro quando a semivariância for igual para todos os valores de  $h$ . O patamar ( $C_0 + C$ ) é o valor da semivariância em que a curva se estabiliza sobre um valor constante, sendo representado pelo ponto em que toda a



semivariância da amostra é de influência aleatória. À medida que  $h$  aumenta a semivariância também aumenta até um valor máximo no qual se estabiliza. O alcance da dependência espacial representa a distância na qual os pontos amostrais estão correlacionados entre si. O grau da dependência espacial (ADE) foi classificado segundo Landim (1998) como fraco <25%, moderado entre 25 e 75%, e forte >75%, respectivamente.

Em seguida à modelagem dos semivariogramas, foi realizada a interpolação por krigagem ordinária, sendo esta uma técnica de interpolação para estimativa de valores de uma propriedade em locais não amostrados. A krigagem faz uso de um interpolador linear não tendencioso e de variância mínima, que assegura a melhor estimativa dos dados não amostrados. Por meio da interpolação por krigagem, os mapas de isolinhas (bidimensionais) foram construídos para o detalhamento espacial dos dados coletados.

### **3.7 Análise multivariada**

Os dados das variáveis químicas do solo foram analisados para cada camada, ou seja, 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m. Inicialmente, foram analisados por meio da estatística descritiva, segundo Vieira et al. (2002), obtendo-se média, variância, coeficiente de variação, assimetria e curtose. Foi efetuada a distribuição de frequência para caracterizar a normalidade dos dados utilizando o teste Ryan-Joiner.

Posteriormente, os dados foram padronizados e em seguida as análises multivariadas foram processadas, de modo que, cada variável ficou com média nula e variância unitária. Assim, procedeu-se a análise de agrupamento (hierárquica) conforme a metodologia proposta por Sneath & Sokal (1973), e foi utilizado como coeficiente de semelhança entre pares de locais a Distância Euclidiana, que é um coeficiente de dissimilaridade, pois, quanto menor a distância entre dois locais, mais similares são, segundo as características consideradas.

O dendograma é montado a partir dos pares de objetos mais similares (os de menor distância) e em seguida os objetos ou grupos já formados vão se reunir em função das similaridades decrescentes (ou de distâncias crescentes), (VALENTIN, 1995). A estratégia de agrupamento adotada foi o método de Ward, em que a distância

entre dois grupos é definida como a soma de quadrados entre os dois grupos feitos sobre todas as variáveis. Assim, o objetivo da análise de agrupamento foi de encontrar a melhor maneira de descrever os padrões de similaridades mútuas.

Seguindo os métodos multivariados, procedeu-se a análise dos componentes principais, que foi utilizada para explicar a estrutura de variâncias e covariâncias contidas nas variáveis originais, que resulta em um conjunto menor de combinações lineares ortogonais (BARROS et al., 2002). Na análise de componentes principais, a variância contida em cada componente principal (CP) é expressa pelos autovalores da matriz padronizada. O maior autovalor é associado ao primeiro componente principal, o segundo maior autovalor ao segundo componente principal, até que o menor autovalor esteja associado ao último componente principal, o que coloca os primeiros como os mais importantes. Sendo assim, os primeiros componentes principais explicam, geralmente, grande parte da variância das variáveis originais. Por fim, foi construído um gráfico bidimensional que possibilita verificar os prováveis agrupamentos resultantes.

## 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 4.1 Atributos químicos

Na camada de 0,00-0,10 m, os atributos pH, K, H+Al, Ca, SB, CTC, V% e MO não apresentaram diferenças significativas nos sistemas de manejo, enquanto os valores de P e Mg variaram entre os sistemas de manejo (Tabela 5).

Na camada de 0,10-0,20 m, apenas o Mg e SB apresentaram variações em comparação as médias, enquanto que os demais atributos nos sistemas mantiveram-se sem diferenças significativas.

Tabela 5. Análise de variância dos valores médios dos atributos químicos do solo.

Atributos	Sistemas de manejo						Teste F	CV (%)
	-----0,00-0,10 m -----							
	T0	T1	T2	T3	T4	T5		
<b>pH</b>	5,46a	5,31a	5,30a	5,43a	5,34a	5,32a	0,18 <sup>NS</sup>	5,82
<b>P</b>	11,05ab	14,88a	10,74ab	9,05b	15,75a	13,09ab	4,71 <sup>**</sup>	19,23
<b>K</b>	0,61a	0,49a	0,52a	0,58a	0,62a	0,53a	0,75 <sup>NS</sup>	21,53
<b>Al</b>	0,09a	0,30a	0,21a	0,18a	0,30a	0,15a	0,99 <sup>NS</sup>	81,01
<b>H+Al</b>	3,83a	4,49a	3,94a	3,93a	3,90a	4,39a	0,66 <sup>NS</sup>	17,05
<b>Ca</b>	6,03a	5,82a	6,86a	5,93a	6,48a	5,64a	0,80 <sup>NS</sup>	16,55
<b>Mg</b>	1,98ab	1,81ab	2,08a	1,26b	2,10a	1,71ab	3,25 <sup>*</sup>	19,26
<b>SB</b>	8,62a	8,12a	9,46a	7,77a	9,20a	7,88a	2,28 <sup>NS</sup>	11,00
<b>CTC</b>	12,46a	12,61a	13,40a	11,70a	13,10a	12,27a	1,18 <sup>NS</sup>	8,85
<b>V%</b>	69,00a	64,50a	70,68a	66,41a	70,18a	63,91a	16,91 <sup>NS</sup>	6,66
<b>MO</b>	2,87a	2,25a	2,29a	2,31a	2,74a	2,39a	1,05 <sup>NS</sup>	20,93
	-----0,10-0,20 m -----							
<b>pH</b>	5,38a	5,31a	5,24a	5,43a	5,43a	5,39a	0,19 <sup>NS</sup>	6,16
<b>P</b>	9,46a	12,26a	9,05a	8,52a	13,50a	10,85a	1,60 <sup>NS</sup>	29,23
<b>K</b>	0,49a	0,41a	0,44a	0,48a	0,50a	0,47a	0,49 <sup>NS</sup>	22,42
<b>Al</b>	0,12a	0,30a	0,18a	0,18a	0,21a	0,24a	0,85 <sup>NS</sup>	64,64
<b>H+Al</b>	3,72a	4,18a	4,38a	3,62a	3,72a	3,86a	0,83 <sup>NS</sup>	16,89
<b>Ca</b>	6,57a	4,62a	6,13a	5,27a	6,57a	4,44a	0,62 <sup>*</sup>	17,99
<b>Mg</b>	2,39a	1,63ab	2,42a	2,11ab	2,46a	1,46b	4,86 <sup>**</sup>	18,87
<b>SB</b>	9,45a	6,66ab	8,99ab	7,86ab	9,53a	6,37b	4,25 <sup>*</sup>	16,68
<b>CTC</b>	13,17a	10,84a	13,37a	11,48a	13,25a	10,23a	3,15 <sup>*</sup>	12,90
<b>V%</b>	71,83a	61,62a	66,84a	68,39a	72,08a	62,13a	3,02 <sup>*</sup>	7,80
<b>MO</b>	2,25a	2,22a	2,68a	2,74a	2,58a	2,47a	0,70 <sup>NS</sup>	20,95

pH em água; P: Fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ); K: Potássio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); Al: Alumínio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); H+Al: Acidez potencial ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); Ca: cálcio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); Mg: Magnésio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); SB: Soma de bases trocáveis ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); CTC: Capacidade de troca de cátions ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ); V%: Saturação por bases; MO: Matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ ). Letras minúsculas iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Sem preparo (T0), uma operação de escarificação (T1), duas escarificações e uma gradagem niveladora para quebrar torrões e nivelar o solo (T2), uma aração e quatro gradagens destorroadora-niveladora (T3), uma gradagem destorroadora-niveladora (T4) e uma operação de escarificação e uma gradagem destorroadora-niveladora (T5).

Os valores encontrado para o pH foram ácidos em todos os sistemas de manejo. Segundo Ronquim, (2010) a maioria das culturas apresentam melhor produtividade quando no solo é obtido valor de pH entre 6,0 e 6,5.

Os valores do macronutriente principal P apresentou variações nos sistemas nos sistemas T1, T3 e T4 na camada de 0,00-0,10 m, sendo maior nos sistemas T1 e T4 e menor em T3. Esse menor valor de P pode ser atribuído ao maior número de preparo do solo. Os valores de P apresentaram níveis classificados como médio (8 a 12 mg dm<sup>-3</sup>), bom (12 a 18 mg dm<sup>-3</sup>) e muito bom (>0,31 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) segundo a Embrapa (2010).

O sistema T4 apresentou o maior valor de P, o que pode ser explicado pelo fato deste sistema ter recebido apenas uma gradagem até ao profundidade de 0,15 m e o P ter baixa mobilidade no solo e pela calagem fornecer este nutriente, este pode ter sido acumulado.

Todos os sistemas de manejo apresentaram valores baixos de K na camada de 0,00-0,10 m, de acordo com Embrapa (2010). Solos com CTC  $\geq 8$  cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> apresentam valores altos de K quando estes se encontram >5 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

O Ca é o terceiro nutriente mais exigido pelas plantas e o Mg possui uma exigência menor pelas demais plantas, mas é bem exigido pela cultura do milho, porém ambos em solos ácidos ou muito intemperizados encontram-se mais na solução do solo (FURTINI NETO et al., 2001). Esses macronutrientes secundários (Ca e Mg) apresentaram-se em níveis altos na camada de 0,00-0,10 m (Tabela 4), sendo que segundo a Embrapa (2010), valores para Ca >4 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> e Mg >0,8 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup> são classificados como altos.

Na camada de 0,00-0,10 m, os valores de Mg foram maiores para T1 e T4 e menores T3, que pode ser explicado por T1 e T3 terem sofrido menores operações de preparo, acumulando o Mg das antigas calagens (Tabela 5).

Foram observados valores médios de Al em todos os sistemas de manejo na camada de 0,00-0,10 m (EMBRAPA, 2010), (Tabela 5), corroborando com resultados encontrados por Souza et al. (2003) ao analisar propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado com sistemas de manejo e também por Leite et al. (2010). O baixo teor de matéria orgânica e o pH ácido contribui para o aparecimento do Al no solo. Segundo Oliveira et al. (2005) para eliminar o alumínio ativo nos solos de cerrado, tem-se que elevar o pH do solo a valores acima de 5,5 procurando atingir

a faixa de 5,8 a 6,2. Segundo Nolla et al. (2004) no sistema plantio direto, há redução do efeito fitotóxico do alumínio devido à sua complexação pelos radicais da matéria orgânica e pelos ligantes orgânicos de baixo peso molecular provenientes dos restos culturais.

A baixa quantidade de matéria orgânica pode ter contribuído para o aumento dos níveis de Al no solo na camada de 0,00-0,10 m. Segundo Embrapa (2010), solos com teores de MO  $<15 \text{ g kg}^{-1}$  são classificados como baixo.

A acidez potencial (H+Al) corresponde às substâncias ou os compostos que liberam íons  $\text{H}^+$  para a solução do solo, causando uma acidificação do meio. A acidez potencial do solo não depende apenas dos teores de alumínio trocável, mas também do alumínio adsorvido nos sítios de troca, da concentração de hidrogênio e dos ácidos orgânicos provenientes da matéria orgânica (NOLLA et al., 2004). Esta acidez limita o crescimento das raízes e ocupa espaços nos coloides possibilitando que os nutrientes livres na solução do solo sejam lixiviados e em solos com pH menor que 5,5 ocorre a forma não-trocável da acidez potencial. Todos os sistemas não apresentaram diferenças estatísticas na camada de 0,00-0,10 m.

Caires et al. (2000), avaliando um Latossolo vermelho-escuro distrófico, mostraram os efeitos benéficos das doses de calcário em sistema plantio direto, como o aumento dos valores de Ca+Mg e V%, alterações no pH e diminuição significativa da H+Al.

A SB representa a soma do Ca, Mg e K, permitindo nos dar uma indicação do número de cargas negativas que estão ocupados por bases nos coloides do solo. Todos os sistemas na camada de 0,00-0,10 m apresentaram níveis altos de SB.

A saturação por bases (V%) é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo e a correção ou calagem no solo tropical deve influir sobre a soma de bases (SB), conseqüentemente elevando a disponibilidade de nutrientes e aumentando o complexo de troca para as plantas e o valor da CTC efetiva. A correção pela calagem também satura o complexo de troca com cálcio e magnésio e eleva o pH até um nível em que o Al se torne praticamente indisponível para as culturas. A V% quando encontrada nos valores de 50 e 80% representa boa produtividade para as culturas (RONQUIM, 2010). Diante disto todos os sistemas de manejo obtiveram bons níveis de V% na camada de 0,00-0,10 m.

A capacidade de troca de cátions (CTC), reflete a capacidade efetiva de troca de cátions do solo ou, em outras palavras, a capacidade do solo em reter cátions próximo ao valor do seu pH natural (LOPES et al., 2004). Todos os sistemas apresentaram valores médios de CTC na camada de 0,00-0,10 m, segundo o Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (2004).

Todos os sistemas apresentaram valores de MO classificados como baixo na camada de 0,00-0,10 m. Tognon et al. (1998), ao caracterizar o teor e a distribuição da matéria orgânica em alguns Latossolos das regiões amazônicas e de cerrado, constataram que nos solos dos Cerrados, à medida que aumenta o teor de argila e aumenta a camada do solo, o teor de matéria orgânica tende a ficar mais elevado.

Na camada de 0,10-0,20 m, apenas o Mg e SB apresentaram variações em comparação as médias, enquanto que os demais atributos nos sistemas mantiveram-se sem diferenças significativas (Tabela 5).

A camada de 0,10-0,20 m apresentou níveis médios e bons de P, variando entre 8,52 a 13,50 mg dm<sup>-3</sup>. Os valores de K verificados nesta camada foram baixos para todos os sistemas (EMBRAPA, 2010).

Os valores de Ca e Mg apresentaram-se em níveis altos na camada de 0,10-0,20 m, segunda a classificação de Embrapa (2010). Na camada de 0,10-0,20 m, os valores de Mg foram maiores para T0, T2 e T4 e menor para T5, provavelmente devido ao acúmulo do Mg das calagens anteriores.

Foram observados valores médios de Al em todos os sistemas de manejo na camada de 0,10-0,20 m (EMBRAPA, 2010), que pode ser explicado pelo baixo teor de matéria orgânica e o pH ácido. Os valores observados de H+Al não apresentaram diferenças estatísticas para a camada de 0,10-0,20 m.

No dendograma da camada de 0,00-0,10 m (A) (Figura 3), foi possível verificar a formação de dois grandes grupos, sendo que o primeiro se divide formado dois subgrupos, o primeiro subgrupo formado pelos sistemas T3 e T0, e o segundo subgrupo formado por T1 e T5, enquanto o segundo grupo foi formado por T4 e T2. Os sistemas T1 e T5 apresentaram maior semelhança no dendograma, apresentando a menor distância euclidiana, sendo possível afirmar que este foi o primeiro grupo a ter sido formado. Este grupo apresentou o maior valor de H+Al e os menores valores de Ca e V% para esta camada. Os sistemas T3 e T0 apresentaram distância euclidiana

maior entre si, porém ainda semelhantes e com características próximas do grupo T1 e T5 (Figura 3). Além de apresentarem os maiores valores de pH, a área do experimento foi manejada de modo que todo seu histórico foi perdido, sendo este o provável motivo para a formação do agrupamento entre T3 e T0. O segundo grupo formado por T4 e T2 (Figura 3), apresentaram semelhanças entre si porém com uma distância euclidiana muito maior em relação aos demais sistemas, formando assim um grupo distinto. Neste grupo foi possível verificar que houve uma concentração dos maiores valores de Ca, Mg, SB e CTC.

No dendograma da camada de 0,10-0,20 m (B), houve a formação de dois grandes grupos, sendo o primeiro constituído pelos sistemas T2, T3, T4 e T0, e o segundo por T1 e T5 (Figura 3). No primeiro subgrupo desta camada, verificou-se que o sistema T2 apresentou a maior distância euclidiana, seguido por T3, T4 e T0. O sistema T4 e T3 formaram subgrupos distintos, ou seja, não apresentaram características suficientes para formarem grupos similares, porém possuem alguma similaridade com T4 e T0. Os sistemas T4 e T0 apresentaram-se semelhantes, obtendo os maiores valores de K, SB e V% e valores iguais de H+Al e Ca, sendo que o Ca foi o maior valor obtido dentre os demais sistemas. O segundo grupo, formado pelos sistemas T1 e T5 apresentaram a menor distância euclidiana. Neste grupo foi encontrado os maiores valores de Al e os menores valores de Mg, SB, CTC e V%.

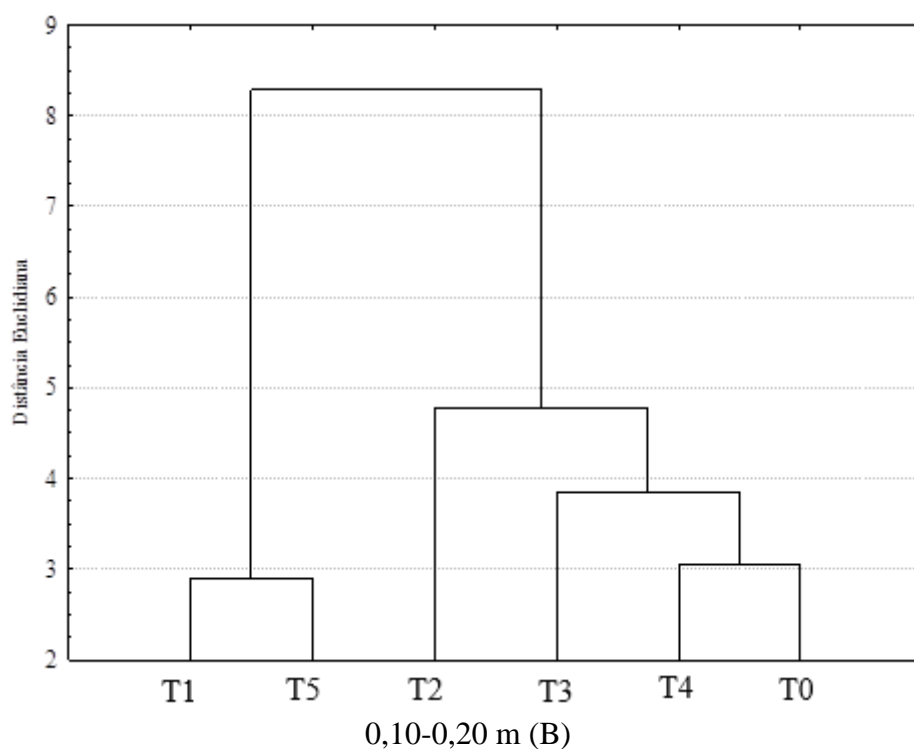
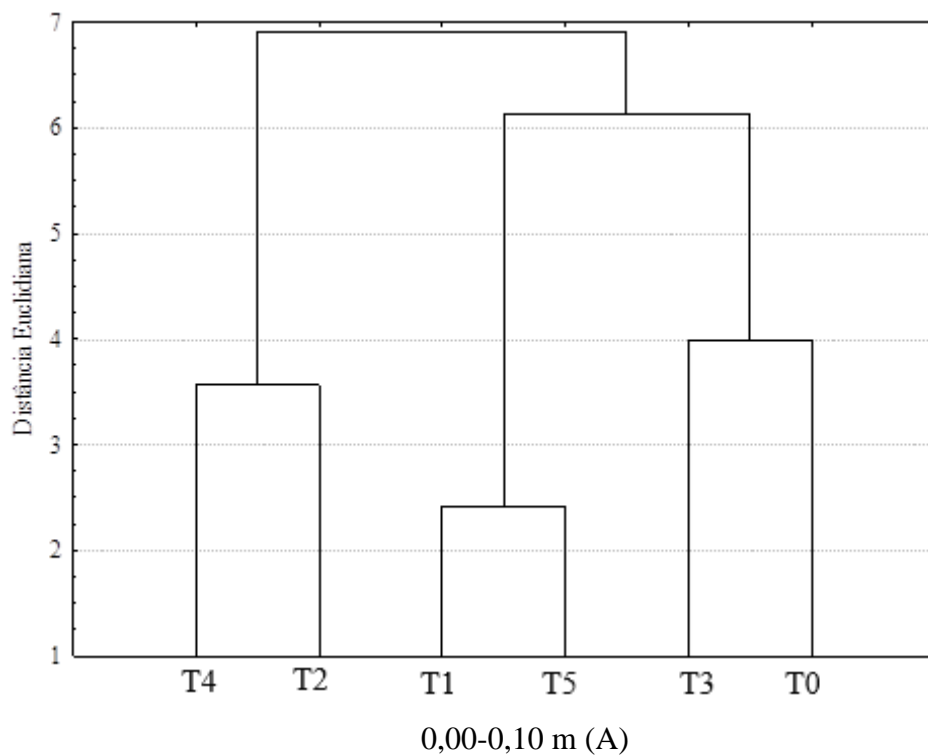


Figura 3. Resultado da análise de agrupamento para sistemas de manejo em função das camadas avaliadas: 0,00-0,10 m (A) e 0,10-0,20 m (B). (T0), uma operação de escarificação (T1), duas escarificações e uma gradagem niveladora para quebrar torrões e nivelar o solo (T2), uma aração e quatro gradagens destorroadora-niveladora (T3), uma gradagem destorroadora-niveladora (T4) e uma operação de escarificação e uma gradagem destorroadora-niveladora (T5).



Na análise de componentes principais, a variância contida em cada componente principal gerado é expressa pelos autovalores da matriz padronizada, segundo Artes (1998), para se determinar o número de autovalores uma percentagem pré-definida da variável global, é sugerido em um nível de explicação de pelo menos 70% da variação total dos dados.

Os dois primeiros componentes principais (CP) das duas camadas avaliadas apresentaram autovalores que explicam aproximadamente 80% da informação contida nas 11 variáveis dos atributos químicos nos 6 sistemas de manejo (tratamentos) no valor do acumulado (%), (Tabela 6) sendo então esses dois CP utilizados para gerar os gráficos biplot. Os CP 3, 4 e 5 nas duas camadas avaliadas, apresentaram autovalores baixos, contribuindo pouco para a explicação das informações e por este motivo não foi utilizado. A % total mostra o quanto se é explicado dos autovalores e como se pode observar, os dois primeiros CP concentraram as maiores informações, enquanto que os demais CP trazem pouca contribuição.

Tabela 6. Autovalores e estatística dos componentes principais (CP).

CP	Autovalores	% Total	Acumulativo	Acumulado (%)
-----0,00-0,10 m -----				
1	4,97	45,17	4,97	45,17
2	3,75	34,09	8,72	79,25
3	1,45	13,22	10,17	92,47
4	0,70	6,40	10,88	98,88
5	0,12	1,12	11,00	100,00
-----0,10-0,20 m -----				
1	6,11	55,57	6,11	55,57
2	2,53	22,94	8,64	78,51
3	1,43	13,01	10,07	91,53
4	0,81	7,41	10,88	98,94
5	0,12	1,06	11,00	100,00

Na camada de 0,00-0,10 m, os tratamentos T4, T0, T1 e T2 tiveram maior contribuição para formar o CP1 (Tabela 7), sendo que o tratamento T0 foi que mais contribuirão. Na camada de 0,10-0,20 m, T3, T0, T2 e T5 foram os que contribuíram mais, sendo o maior valor encontrado no tratamento PC. Quanto ao CP2 na camada de 0,00-0,10 m, os tratamentos T0, T1 e T5 contribuíram mais para a formação deste CP. Nesta camada o sistema T3 apresentou a maior contribuição. Na camada de 0,10-0,20 m, os tratamentos T4, T1 e T2 apresentaram maior contribuição, sendo que o primeiro tratamento contribuiu com o maior valor.

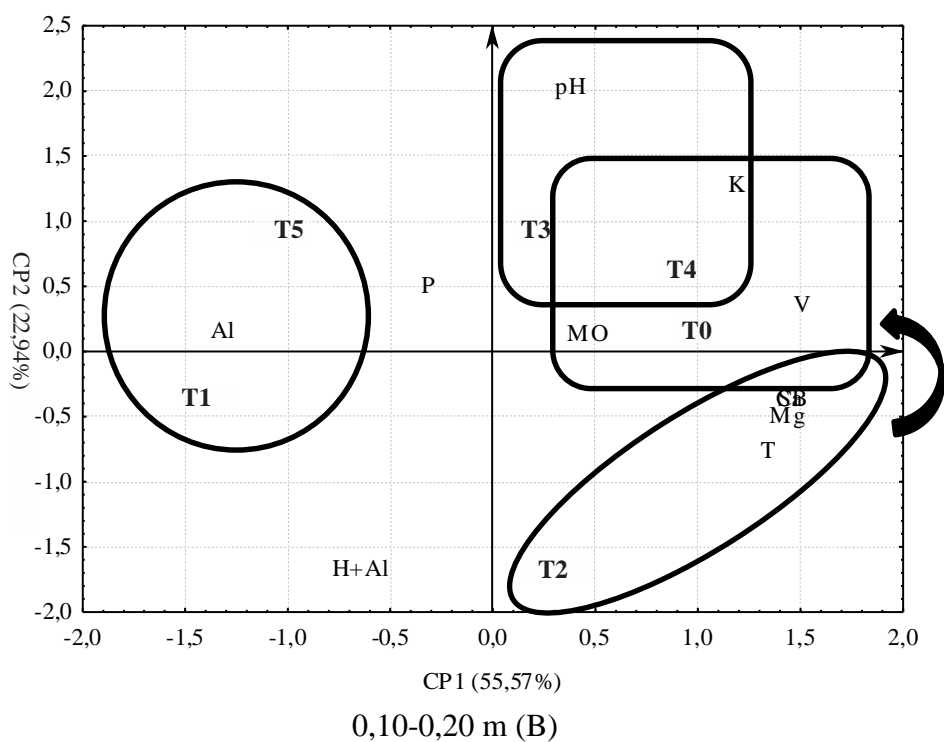
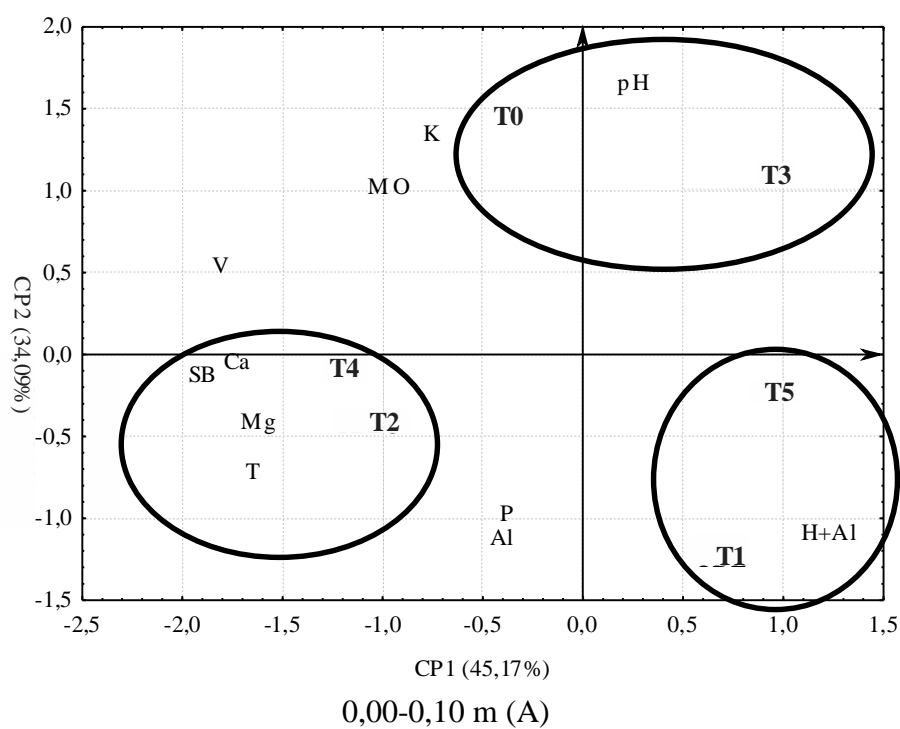
Tabela 7. Contribuição de cada sistema de manejo nos componentes principais (CP).

Tratamentos	CP1	CP2
	-----0,00-0,10 m-----	
T0	28,13	0,68
T1	18,53	19,80
T2	18,25	2,18
T3	2,57	36,91
T4	22,84	5,26
T5	9,67	35,17
	-----0,10-0,20 m-----	
T0	16,76	5,48
T1	0,92	13,52
T2	20,89	13,90
T3	20,21	0,06
T4	1,70	62,69
T5	39,50	4,34

(T0), uma operação de escarificação (T1), duas escarificações e uma gradagem niveladora para quebrar torrões e nivelar o solo (T2), uma aração e quatro gradagens destorroadora-niveladora (T3), uma gradagem destorroadora-niveladora (T4) e uma operação de escarificação e uma gradagem destorroadora-niveladora (T5).

Na camada de 0,0-0,10 m (a), o sistema T0 se aproxima de T3, mesmo não estando no mesmo quadrante e o atributo químico que mais aproxima esses sistema é o pH, provavelmente por estes apresentarem os maiores valores para esta camada e também por seus valores serem muito próximos (Figura 4). Porém os valores de K, MO e V% entre esses sistemas foi distante, evidenciando que o preparo desses sistemas pode ser também o provável fator de similaridade entre eles.

No agrupamento entre os sistemas T4 e T2, pode-se verificar que os atributos Ca, SB, Mg e CTC exerceram maior influência para a similaridade entre eles, já os atributos P e Al pouco influenciaram, provavelmente por apresentarem valores mais distantes (Figura 4). Já entre os sistemas T1 e T5, foi o atributo H+Al que mais influenciou a similaridade entre ambos, pois estes dois sistemas apresentaram os maiores valores para este atributo.



Legenda: pH em água; P: Fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ); K: Potássio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); Al: Alumínio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); H+Al: Acidez potencial ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); Ca: cálcio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); Mg: Magnésio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); SB: Soma de bases trocáveis ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); CTC: Capacidade de troca de cátions ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ); V%: Saturação por bases; MO: Matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ ). (T0), uma operação de escarificação (T1), duas escarificações e uma gradagem niveladora para quebrar torrões e nivelar o solo (T2), uma aração e quatro gradagens destorroadora-niveladora (T3), uma gradagem destorroadora-niveladora (T4) e uma operação de escarificação e uma gradagem destorroadora-niveladora (T5).

Figura 4. Gráfico biplot em função dos sistemas de manejo e dos atributos químicos das camadas avaliadas: 0,00-0,10 m (A) e 0,10-0,20 m (B).

Na camada de 0,10-0,20 m, os sistemas T1 e T5 apresentaram valores de Al muito próximos, o que justifica a proximidade desses sistemas mesmo em quadrantes diferentes. Os teores de P e H+Al já exerceram pouca influência entre os sistemas (Figura 4). Os sistemas T4 e T0 sofreram influência dos atributos K, V% e MO, porém mesmo formando um grupo distinto no dendograma, T3 divide o mesmo quadrante com T4 e T0, provavelmente por T3 e T4 apresentarem valores iguais de pH. O sistema T2 divide um outro quadrante e no dendograma também formou um grupo distinto, mas também com similaridades entre T4 e T0, que também pode ser observado no gráfico.

Em T2, na camada de 0,10-0,20 m, os valores de Ca variaram muito próximos aos observados em T4 e T0, os valores de SB também ficaram altos entre esses três sistemas, sendo que T2 apresentou o terceiro maior valor (Figura 4). Entre os sistemas T4, T0, T3 e T2, os valores de Mg tiveram pouca variação entre eles. Os valores observados da CTC foi maior no sistema T2, porém variou próximo dos valores encontrados para T4 e T0.

## **4.2 Atributos físicos**

### **4.2.1 Densidade e porosidade do solo**

Foi observado efeito significativo no teste F para a camada de 0,010-0,15 m na densidade, na camada de 0,00-0,05 m na macroporosidade e para a camada de 0,10-0,15 m na porosidade total (Tabela 8).

Para a densidade do solo, na camada de 0,05-0,10 m e de 0,20-0,25 m, não houve diferença entre os sistemas de manejo. Para a camada de 0,10-0,15 m ocorreu diferença entre o T3 e T2, sendo maior no segundo. Esse fato mostra que mesmo com duas operações de escarificação os valores de densidade foram maiores no T2 do que no T3.

A densidade do solo em todos os sistemas, variou entre 1,16 a 1,31 Mg m<sup>-3</sup>, sendo considerado não limitante ao desenvolvimentos das plantas e segundo Reichert et al. (2003), de maneira geral para os tipos de solo, os valores críticos para o desenvolvimento de culturas anuais é de 1,55 Mg m<sup>-3</sup>.

Tabela 8. Síntese da análise de variância e do teste de médias para os atributos densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo.

Camadas m	Sistemas de manejo					Teste F	CV (%)	
	T0	T1	T2	T3	T4			T5
Densidade do solo ( $\text{Mg m}^{-3}$ )								
0,00-0,05	1,25	1,20	1,27	1,24	1,16	1,18	1,45 <sup>NS</sup>	5,71
0,10-0,15	1,27ab	1,24ab	1,28a	1,16b	1,20ab	1,25ab	3,22*	3,88
0,20-0,25	1,31	1,27	1,26	1,23	1,27	1,34	1,25 <sup>NS</sup>	5,65
Microporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )								
0,00-0,05	0,43	0,43	0,42	0,43	0,42	0,43	0,30 <sup>NS</sup>	4,45
0,10-0,15	0,42	0,41	0,44	0,43	0,43	0,41	0,58 <sup>NS</sup>	6,92
0,20-0,25	0,47	0,44	0,48	0,45	0,45	0,45	0,71 <sup>NS</sup>	6,98
Macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )								
0,00-0,05	0,09a	0,12a	0,10a	0,09a	0,14a	0,12a	3,23*	18,22
0,10-0,15	0,10	0,12	0,08	0,13	0,12	0,12	1,26 <sup>NS</sup>	29,78
0,20-0,25	0,04	0,08	0,05	0,08	0,07	0,04	1,68 <sup>NS</sup>	52,92
Porosidade total ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )								
0,00-0,05	0,53	0,55	0,52	0,53	0,56	0,55	1,45 <sup>NS</sup>	4,87
0,10-0,15	0,52ab	0,53ab	0,52b	0,56a	0,55ab	0,53ab	3,22*	3,39
0,20-0,25	0,50	0,52	0,53	0,53	0,52	0,49	1,25 <sup>NS</sup>	5,26

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>NS</sup>: não significativo ( $P \geq 0,05$ ); \*: significativo ( $P < 0,05$ ); \*\*: significativo ( $P < 0,01$ ); C.V.: coeficiente de variação. (T0), uma operação de escarificação (T1), duas escarificações e uma gradagem niveladora para quebrar torrões e nivelar o solo (T2), uma aração e quatro gradagens destorroadora-niveladora (T3), uma gradagem destorroadora-niveladora (T4) e uma operação de escarificação e uma gradagem destorroadora-niveladora (T5).

Quanto ao tamanho dos macroporos e microporos do solo, Kiehl (1979) os classifica como aqueles com diâmetro maior e menor que 0,06 mm, respectivamente. Klein & Libardi (2002), classificam como macroporos, os poros com diâmetro maior que 0,05 mm (que perdem a água em tensões menores que 6 kPa), microporos, aqueles com diâmetro entre 0,05 e 0,0002 mm (que são esvaziados a tensões entre 6 e 1500 kPa) e criptoporos, poros com diâmetro menor que 0,0002 mm (que perdem a água apenas para tensões maiores que 1500 kPa). As médias da microporosidade e da macroporosidade não obtiveram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 8). Em todos os sistemas foram encontrados valores baixos de macroporosidade na camada de 0,20-0,25 m. Considerando 10% como limite crítico de aeração que pode causar impedimento ao crescimento de raízes (CENTURION et al., 2004), os sistemas T0, T2 nas três camadas avaliadas, a camada de 0,00-0,05 m no sistema T3 e todos os sistemas na camada de 0,20-0,25 m podem ser considerados críticos.

Normalmente o revolvimento do solo promove um aumento temporário da macroporosidade, entretanto esse efeito é eliminado pela reconsolidação ou adensamento natural do solo (SILVA et al., 2005).

Pode-se observar que os sistemas que apresentaram os maiores valores de microporosidade, apresentaram os menores valores de macroporosidade e de

densidade, evidenciando o efeito negativo da compactação sobre os macroporos do solo.

A densidade e a porosidade do solo são propriedades relacionadas com alterações no volume de solo, sendo relacionadas com compactação do solo e apresentando relação inversa uma com a outra. Geralmente, a redução da porosidade ocorre nos macroporos, que são responsáveis pela infiltração de água e aeração do solo (REICHERT et al., 2007).

Portanto para a porosidade total os valores médios dos sistemas diferiram na camada de 0,10-0,15 m (Tabela 8), sendo maior para o T3 e menor para o T2, sendo relacionado com a menor e maior densidade do solo, apresentada por estes sistemas de manejo. A porosidade total de um solo ideal para o desenvolvimento das plantas deve ser de  $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , ou seja, de 50% sendo a distribuição de poros por tamanho, representada por 1/3 de macroporos e 2/3 de microporos (KIEHL, 1979). Diante disto, pode-se observar que os valores da porosidade total estão adequados em todos os sistemas de manejo, estando todos em torno de 50%.

#### **4.2.2 Resistência mecânica do solo à penetração (RP)**

A umidade do solo no momento da coleta estava próxima da capacidade de campo (Tabela 4), variando em torno de 19,24 a 29,75% na primeira coleta da RP (RP1\*) e em torno de 21,58 a 30,94% para a segunda coleta (RP2\*\*). Pegorare et al. (2009), ao avaliar lâminas de irrigação suplementar no ciclo do milho safrinha, sob plantio direto na mesma fazenda experimental sob um Latossolo Vermelho distroférico, encontraram valores semelhantes de umidade, variando em torno de 29,0 a 33,4% da umidade.

Pesquisas em diferentes locais e tipos de solos têm mostrado que ambientes com teor de água extraível até 30% não apresentam limitações ao desenvolvimento da cultura de milho, mas quando o valor é inferior, o consumo relativo de água decresce linearmente (LANDAU et al., 2012).

Os valores de resistência à penetração para cada sistema de manejo do solo não apresentaram diferenças significativas (Tabela 9). Avaliando o local da amostragem verifica-se que apenas na camada de 0,0-0,10 m ocorreu diferença, sendo menor valor na linha da cultura.

Tabela 9. Síntese dos valores de análise de variância e do teste de médias para resistência mecânica do solo à penetração (MPa).

Parâmetros	Resistência mecânica do solo à penetração (MPa)					
	Camadas (m)					
	0,0-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40	0,40-0,50	0,50-0,60
Manejo (M)						
T0	2,41	3,71	4,09	4,32	4,73	5,10
T1	2,40	3,38	3,62	3,77	3,84	4,27
T2	2,48	3,52	3,36	3,81	4,26	4,40
T3	2,37	3,81	3,79	4,06	4,18	4,70
T4	2,68	3,93	4,26	4,24	4,03	4,84
T5	3,38	3,40	3,66	4,07	4,15	4,60
Local (L)						
Linha	2,06b	3,59	3,84	4,03	4,19	4,68
Entrelinha	2,84a	3,67	3,76	4,06	4,20	4,62
Teste F						
M	0,39 <sup>NS</sup>	1,71 <sup>NS</sup>	2,04 <sup>NS</sup>	0,58 <sup>NS</sup>	0,48 <sup>NS</sup>	0,46 <sup>NS</sup>
L	25,18**	0,30 <sup>NS</sup>	0,20 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	0,00 <sup>NS</sup>	0,02 <sup>NS</sup>
M x L	0,18 <sup>NS</sup>	0,22 <sup>NS</sup>	0,24 <sup>NS</sup>	0,16 <sup>NS</sup>	0,08 <sup>NS</sup>	0,13 <sup>NS</sup>
C.V. (%)	21,94	13,52	17,09	20,34	29,03	26,84

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>NS</sup>: não significativo ( $p \geq 0,05$ ); \*: significativo ( $p < 0,05$ ); \*\*: significativo ( $p < 0,01$ ); C.V.: coeficiente de variação. (T0), uma operação de escarificação (T1), duas escarificações e uma gradagem niveladora para quebrar torrões e nivelar o solo (T2), uma aração e quatro gradagens destorroadora-niveladora (T3), uma gradagem destorroadora-niveladora (T4) e uma operação de escarificação e uma gradagem destorroadora-niveladora (T5).

Ribeiro (2010), analisando a variabilidade espacial da RP em Latossolo Vermelho Eutroférrico típico, estabeleceu a seguinte classificação para os valores de RP, sendo considerado baixo (0 a 2 MPa); médio (2 a 4 MPa); alto (4 a 6 MPa) e muito alto (acima de 6 MPa). Considerando esses valores, pode-se afirmar que todos os sistemas apresentaram médios e altos valores de RP, sendo que com o acréscimo da camada, os valores tendem a aumentar.

Na camada de 0,0-0,10 m foram encontrados os menores valores de RP, haja vista que a camada superficial foi revolvida para o preparo dos sistemas de manejo e no sistema T0, em que não houve revolvimento do solo, este efeito pode ser atribuído a presença de matéria orgânica (Tabela 9). Resultado semelhante foi encontrado por Ralisch et al. (2008), ao avaliar o comportamento da RP em sistemas de manejo, na região do Cerrado de Goiás. O aumento da RP com o acréscimo da camada pode indicar formação de pé-de-grade, provocado pelo preparo contínuo da camada superficial. Este mesmo efeito foi relatado por Costa et al. (2006) e Ralisch et al., (2008). Malh et al. (2008) ao avaliarem a influência da operação da escarificação ao longo do tempo sobre a estrutura de um Nitossolo Vermelho em plantio direto,

perceberam que nas parcelas em plantio direto aos quatro meses do preparo, os valores de RP foram superiores aos encontrados nas parcelas em que houve preparo com uso de escarificador, desde a superfície até a camada de 0,30 m, sendo que a diferença foi reduzindo gradativamente com o aumento da profundidade.

Na avaliação do Local (L), a linha apresentou diferença estatística para a camada de 0,0-0,10 m, que pode ser explicado pela ação da haste sulcadora da semeadora, atuando na descompactação do solo e reduzindo a resistência mecânica a penetração do solo. A interação entre o manejo e o local (M x L) foi não significativa para todas as camadas em todos os sistemas de manejo.

Os dados de resistência a penetração do solo (RP) no perfil da RP na passada da semeadora para os sistemas de manejo, apresentam média variando de 3,55 a 4,05 MPa e uma dispersão média que varia entre 0,82 a 1,10 MPa, podendo-se afirmar que os dados dispersaram pouco em relação à média (Tabela 10). Esta afirmação se reforça pelos menores valores observados (1,22 a 1,39 MPa) e pelos maiores valores observados (5,11 a 6,12 MPa), que provam que além de pouca variação, também não houve valores discrepantes. Quanto a distribuição dos dados, pode-se afirmar que os valores de assimetria e curtose próximos de zero indicam distribuição normal aproximada dos dados (GUIMARÃES, 2004).

Tabela 10. Estatística descritiva dos dados de resistência mecânica do solo à penetração nos sistemas de manejo do solo.

Parâmetros	Sistemas de manejo					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
	Perfil da RP na passada da semeadora					
Média	4,05	3,55	3,63	3,82	3,99	3,69
DP	1,10	0,85	0,82	0,89	0,91	0,91
Variância	1,22	0,72	0,68	0,80	0,82	0,83
CV	27,22	23,94	22,75	23,37	22,75	24,70
Mínimo	1,22	1,39	1,39	1,22	1,22	1,39
Máximo	6,12	5,45	5,11	5,28	5,45	5,45
Assimetria	-0,80	-0,46	-0,92	-1,26	-1,17	-0,58
Curtose	0,28	0,38	0,49	1,62	1,58	0,05
Probabilidade	0,02**	>0,10*	<0,01**	<0,01**	<0,01**	>0,10*

\* $p \geq 0,05$  dados normais, não significativo - simétrico; \*\*  $p < 0,05$  dados não normais, significativo - assimétrico. DP: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; (T0), uma operação de escarificação (T1), duas escarificações e uma gradagem niveladora para quebrar torrões e nivelar o solo (T2), uma aração e quatro gradagens destorroadora-niveladora (T3), uma gradagem destorroadora-niveladora (T4) e uma operação de escarificação e uma gradagem destorroadora-niveladora (T5).

Segundo Nogueira (2007), um coeficiente de variação maior que 35% revela que a série é heterogênea e a média tem pouco significado; se for maior que 65%, a série é muito heterogênea e a média não tem significado algum, porém se for menor



que 35% a série é homogênea e a média tem significado, podendo ser utilizada como representativa da série de onde foi obtida. Considerando esses dados, todos os sistemas no perfil da RP na passada da semeadora apresentaram série homogênea.

Em relação aos valores de  $p$ , no perfil da RP na passada da semeadora, os sistemas T1 e T4 apresentaram valores  $p \geq 0,05$ , sendo não significativo, com dados normais e distribuição simétrica. Os demais sistemas apresentaram valores  $p < 0,05$ , sendo significativo, com dados não normais e distribuição assimétrica.

A partir desses dados, pode-se afirmar que no perfil da RP na passada da semeadora, o sistema de T0 apresentou a maior média de compactação.

O modelo do semivariograma que melhor se ajustou foi o esférico (Tabela 10 e Figura 5). Concordando com os resultados obtidos por Mcbratney & Webster (1986), citados em Bottega et al. (2011), que verificaram que o ajuste do semivariograma para as propriedades do solo nos modelos esférico e exponencial foram os encontrados com maior frequência.

Tabela 11. Dados ajustados do semivariograma e da validação cruzada para resistência mecânica do solo a penetração

	Sistemas de manejo					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
	Perfil da RP na passada da semeadora					
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico
Co	0,0010	0,0130	0,1040	0,1130	0,1810	0,1120
Co+C	1,3820	0,7880	0,7470	0,8470	0,9470	0,8980
A (m)	0,85	0,84	0,86	0,87	1,03	0,78
R <sup>2*</sup>	0,77	0,80	0,60	0,67	0,93	0,48
RSS	0,07	0,02	0,04	0,04	6,48	0,04
ADE	0,87	0,87	0,98	0,87	1,00	0,81
Classe	Forte	Forte	Forte	Forte	Forte	Forte
	Validação cruzada					
CA (b)	1,04	1,03	0,93	0,77	0,92	1,00
CL (a)	-0,21	-0,13	0,20	0,85	0,27	-0,02
R <sup>2**</sup>	0,58	0,59	0,37	0,20	0,26	0,47

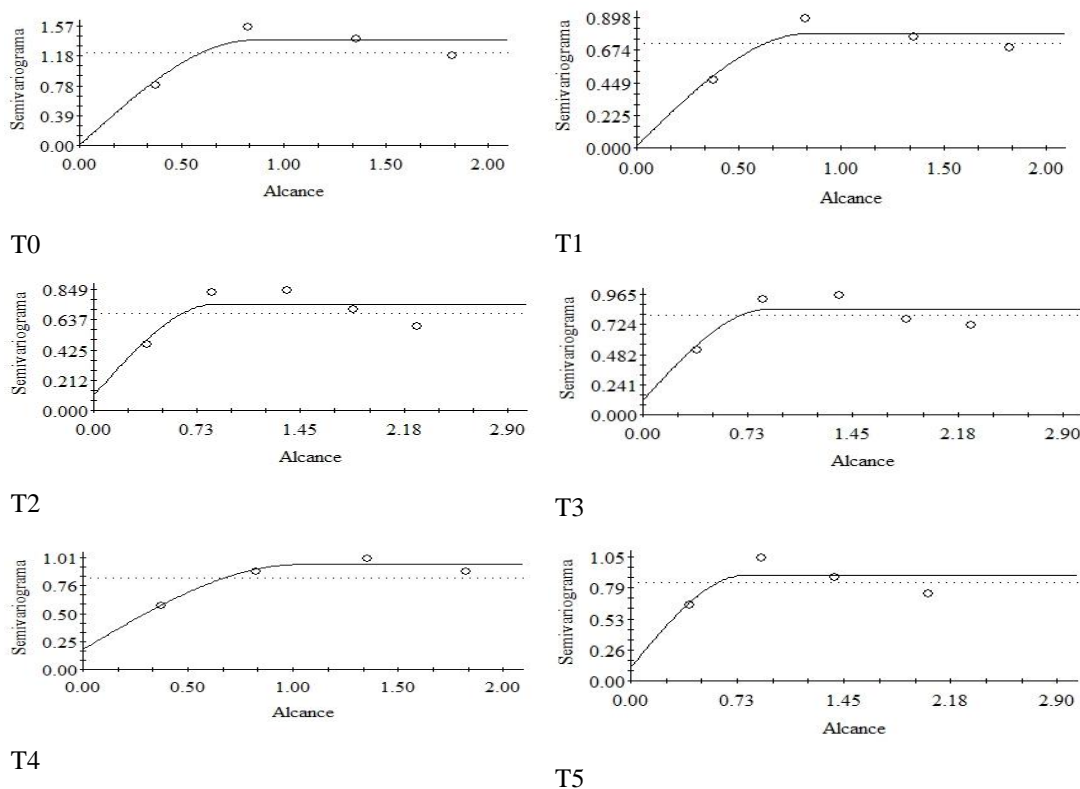
Co: efeito pepita; Co+C: patamar; A: alcance; R<sup>2\*</sup>: coeficiente de determinação do semivariograma; RSS: soma de quadrados de resíduo; ADE: análise da dependência espacial; CA: coeficiente angular; CL: coeficiente linear, R<sup>2\*\*</sup>: coeficiente de determinação da validação cruzada. (T0), uma operação de escarificação (T1), duas escarificações e uma gradagem niveladora para quebrar torrões e nivelar o solo (T2), uma aração e quatro gradagens destorroadora-niveladora (T3), uma gradagem destorroadora-niveladora (T4) e uma operação de escarificação e uma gradagem destorroadora-niveladora (T5).

Para a análise da dependência espacial (ADE) (Tabela 11), pôde-se observar valores variando entre 0,81 a 1,00 no perfil da RP na passada da semeadora, o que indicou forte dependência espacial (LANDIN, 1998). Segunda a classificação de

Zimback (2001), quanto maior o valor do ADE, menor é o valor do efeito pepita ( $C_0$ ) em relação ao valor do patamar ( $C_0 + C$ ).

Segundo Guimarães (2004), quanto menor for a proporção do efeito pepita ( $C_0$ ) em relação ao patamar ( $C$ ) do semivariograma, maior será a continuidade do fenômeno e a variância da estimativa, e maior será a confiança que se pode ter na estimativa. No perfil da RP na passada da semeadora (Tabela 11 e Figura 5), os valores de  $C_0$  foram próximos de zero, indicando um baixo erro.

Os valores de  $R^{2*}$  encontrados nos sistemas de manejo no perfil da RP na passada da semeadora, podem ser considerados altos, exceto no sistema de manejo T4 na passada da semeadora. Neste caso, concordando com a citação de Guimarães (2004) foi preferível selecionar um modelo com  $R^2$  mais baixo, mas que representasse melhor os dados.



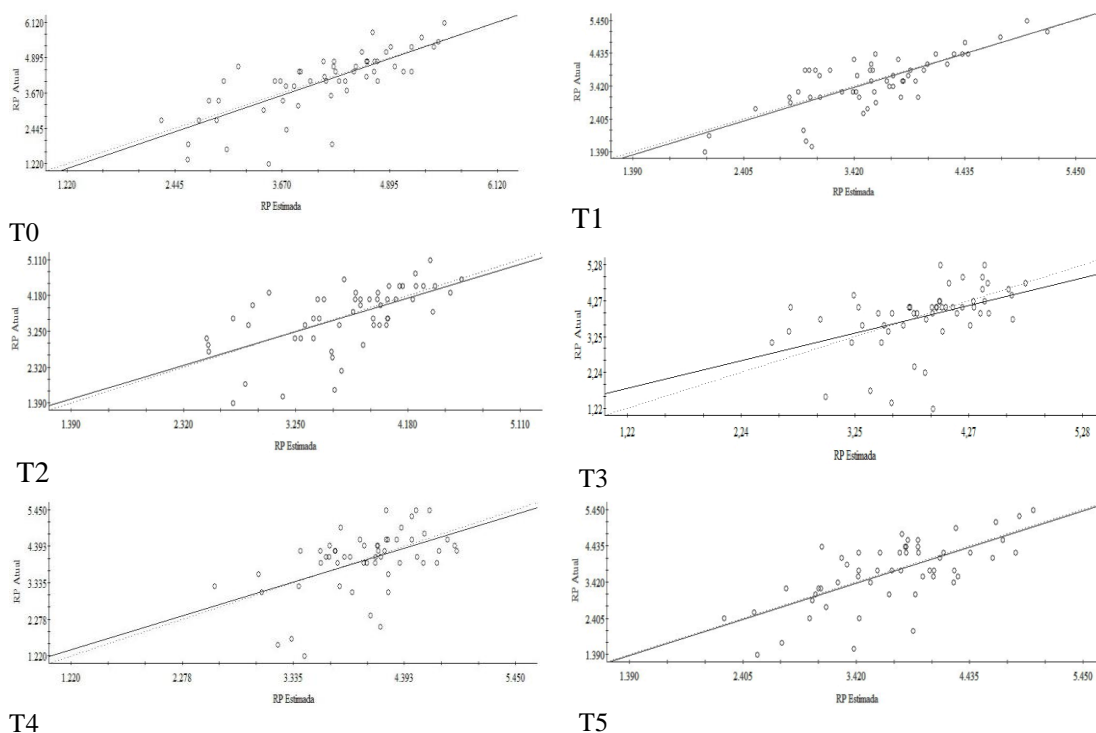
(T0), uma operação de escarificação (T1), duas escarificações e uma gradagem niveladora para quebrar torrões e nivelar o solo (T2), uma aração e quatro gradagens destorroadora-niveladora (T3), uma gradagem destorroadora-niveladora (T4) e uma operação de escarificação e uma gradagem destorroadora-niveladora (T5).

Figura 5. Semivariograma ajustado para a resistência mecânica do solo à penetração para cada sistema de manejo.

Quanto menor for o valor da soma de quadrados de resíduo (RSS), melhor será o modelo do semivariograma segundo (GUIMARÃES, 2004). Com exceção do

sistema T4 que obteve um alto valor de RSS (Tabela 11), todos os outros sistemas obtiveram valores baixos no perfil da RP na passada da semeadora.

Para se ter um ajuste perfeito na validação cruzada, o coeficiente de determinação da regressão ( $R^{2**}$ ) deve ser igual a 1 e a linha do melhor ajuste coincidiria com o modelo perfeito, isto é, com o coeficiente linear (a) igual a 0 e o angular (b) igual a 1 (ROBERTSON, 1998). Estes valores encontram-se satisfatórios no perfil da RP na passada da semeadora, no qual o coeficiente linear (a) variou entre -0,02 a 0,85 e o angular (b) entre 0,77 e 1,00 (Tabela 11 e Figura 6). Os valores do coeficiente de determinação da regressão ( $R^{2**}$ ) foram muito baixos, variando entre 0,20 e 0,59, corroborando com resultados obtidos por ROQUE et al. (2008) ao relacionar e caracterizar a variabilidade espacial da RP e a produtividade do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto, em duas safras consecutivas em um Latossolo Vermelho distroférico típico.



T0), uma operação de escarificação (T1), duas escarificações e uma gradagem niveladora para quebrar torrões e nivelar o solo (T2), uma aração e quatro gradagens destorroadora-niveladora (T3), uma gradagem destorroadora-niveladora (T4) e uma operação de escarificação e uma gradagem destorroadora-niveladora (T5).

Figura 6. Validação cruzada para a resistência mecânica do solo à penetração para cada sistema de manejo.

Com o mapa da RP no perfil do solo pode-se perceber que houve variações dos valores de RP em relação a camada e espaçamento (Figuras 7).

Ribeiro (2010), analisando a variabilidade espacial da RP em Latossolo Vermelho Eutroférico típico, estabeleceu a seguinte classificação para os valores de RP, sendo considerado baixo (0 a 2 MPa); médio (2 a 4 MPa); alto (4 a 6 MPa) e muito alto (acima de 6 MPa).

No perfil da RP na passada da semeadora, de maneira geral, os valores baixos e médios estavam na superfície, variando em torno de 0 a 2 MPa e de 2 a 4 MPa em todos os sistemas. Nos sistemas T0 e T3, os valores médios de RP (2 a 4 MPa) foram observados até aproximadamente 0,45 m, no sistema T1, T2, T4 e T5 esses valores foram até a camada de 0,55 m. Abaixo dessa camada, foram encontrados valores altos (4 a 6 MPa), sendo que no sistema T1, T2, T4 e T0, foram observados esses valores a partir da camada superficial em alguns pontos. No sistema T0, na camada próxima a 0,55 m foi encontrado valores acima de 6 MPa, sendo classificado como muito alto (Figura 7).

Os valores de RP encontrados nos sistemas podem ser atribuídos a influência do preparo do solo, pois estes sistemas foram estabelecidos a aproximadamente um ano, que se confirma pela semelhanças presente nos perfis entre os sistemas T0 e T4, na qual o primeiro não recebeu preparo e o segundo recebeu uma gradagem; entre T1 e T5, onde o primeiro recebeu uma escarificação e o segundo uma escarificação e uma gradagem; e entre T2 e T3, que receberam maior número de operações, sendo no primeiro duas escarificações e uma gradagem, e no segundo, uma aração e quatro gradagens.

Todos os sistemas que receberam as operações de preparo com escarificação, aração e gradagem (sistemas T1, T2 e T5) apresentaram menor distribuição de valores altos de RP no perfil, quando comparado com aqueles que não receberam nenhum preparo (sistema T0), ou com aqueles que receberam apenas uma gradagem (sistema T4). No sistema T3, observa-se no perfil do solo que os menores valores de RP estão distribuídos praticamente até a profundidade de 0,40 m, sendo esta a profundidade de trabalho da aração, e com o acréscimo da profundidade, os valores da RP foram altos. Este mesmo efeito é observado no sistema T2, que recebeu duas operações de escarificação até a profundidade de 0,40 m, e todos os valores altos de RP estão abaixo desta profundidade.

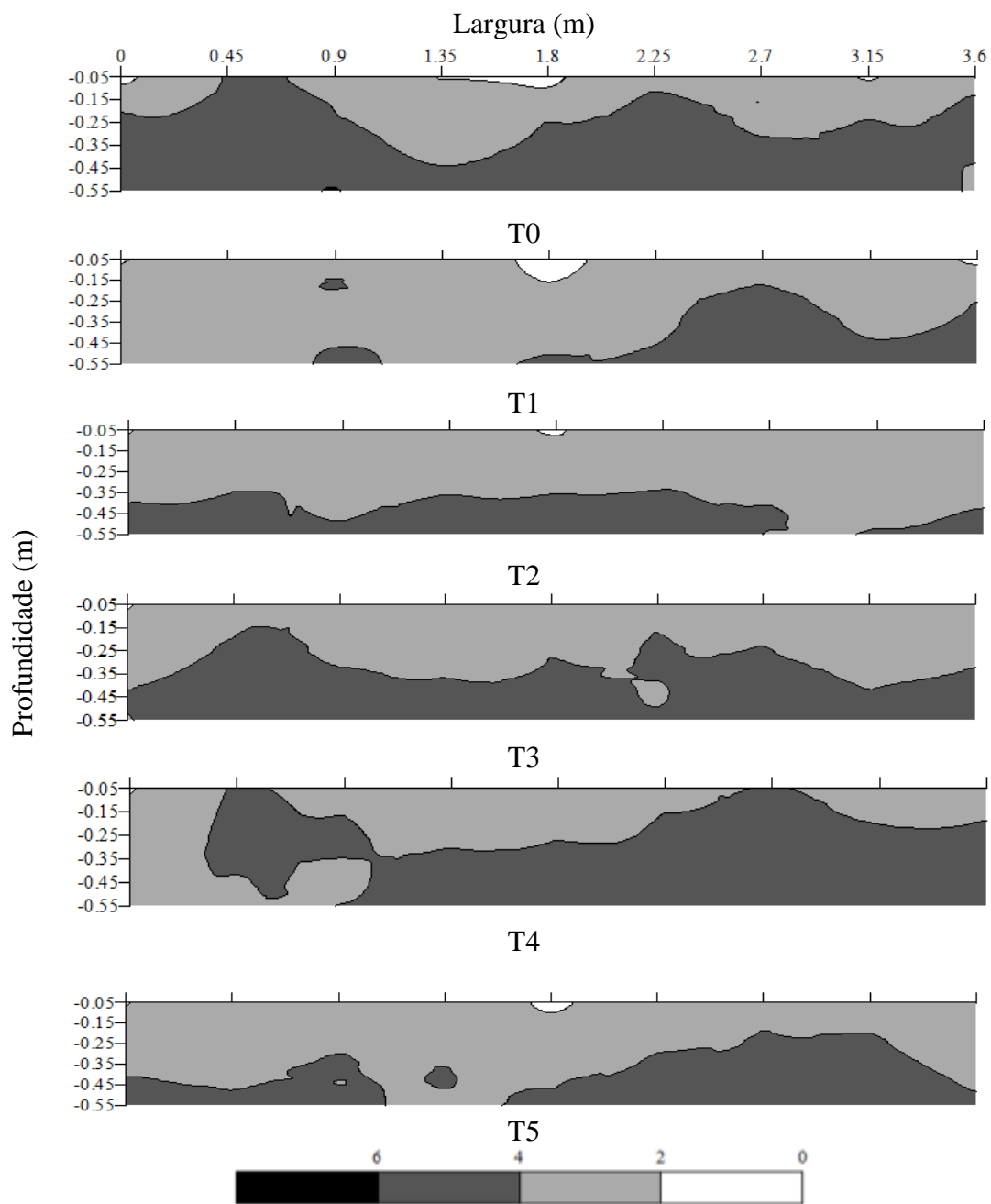


Figura 7. Mapas da resistência à penetração (RP) no perfil do solo da passada da semeadora para cada sistema de manejo.

### 4.3 Atributos agronômicos da cultura do milho

Os valores do diâmetro, altura da planta, altura de inserção da primeira espiga (AIPE), massa de 100 grãos e produtividade não apresentaram diferenças significativas em todos os sistemas de manejo, provavelmente por todos os sistemas de manejo terem sido estabelecidos a aproximadamente um ano (Tabela 12). Secco et al. (2005), verificaram que não houveram diferenças significativas na produtividade ao avaliar as culturas de soja, trigo e milho em Latossolo Vermelho distrófico típico, sob sistemas plantio direto contínuo, plantio direto com escarificação a cada três anos, plantio direto no verão com escarificação no outono/inverno, preparo conservacionista com escarificador mais gradagem niveladora e preparo convencional com arados de discos mais grade niveladora.

Muzilli et al. (1983) ao avaliarem um Latossolo Vermelho-escuro distrófico argiloso sob plantio direto e convencional em rotação de cultura, constataram que houve melhoria na produtividade do milho em sucessão a soja no sistema plantio direto, diferentemente do encontrado neste trabalho.

Tabela 12. Síntese dos valores de análise de variância e do teste de médias para o diâmetro do caule, altura de planta, altura de inserção da primeira espiga (AIPE) e produtividade.

Fator	Diâmetro (mm)	Altura de planta (cm)	AIPE (cm)	Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )
Manejo (M)				
T0	19,05	125,03	47,75a	5159,72
T1	18,99	126,25	45,33a	4704,17
T2	19,26	121,96	46,58a	4915,28
T3	19,14	115,87	48,25a	4679,17
T4	20,24	129,54	47,75a	4783,33
T5	19,51	124,25	48,75a	5068,05
Teste de F				
M	0,39 <sup>NS</sup>	0,98 <sup>NS</sup>	0,10*	1,03 <sup>NS</sup>
C.V. (%)	7,79	7,55	16,84	7,97

<sup>NS</sup>: não significativo (P≥0,05); \*: significativo (P<0,05); \*\*: significativo (P<0,01); C.V.: coeficiente de variação. (T0), uma operação de escarificação (T1), duas escarificações e uma gradagem niveladora para quebrar torrões e nivelar o solo (T2), uma aração e quatro gradagens destorroadora-niveladora (T3), uma gradagem destorroadora-niveladora (T4) e uma operação de escarificação e uma gradagem destorroadora-niveladora (T5).

## 5 CONCLUSÕES

Os sistemas de manejo, na camada de 0,00-0,10 m, com exceção do sistema T3 que apresentou os menores valores de P e Mg, não afetaram os níveis de P, K, Ca, Mg, SB e V%, sendo estes considerados altos. Todos os sistemas de manejo na camada de 0,10-0,20 m, apresentaram valores baixos de K, enquanto que os valores de Ca e Mg foram considerados altos, sendo maior para T0, T2 e T4 e menor para T5.

Verificou-se que o manejo do solo influenciou a similaridade entre os sistemas T3 e T0 na camada de 0,00-0,10 m, e que o grupo T4 e T2 apresentaram melhor qualidade química, sendo influenciado pelos maiores de Ca, Mg, SB, CTC e V%. O subgrupo T2, T3, T4 e T0, na camada de 0,10-0,20 m, apresentaram similaridade pela influencia dos atributos K, SB, Mg, CTC, V%, MO e pH.

Na física do solo, a densidade, microporosidade e porosidade total foi adequada para todos os sistemas e camada, somente a macroporosidade apresentou limites críticos de aeração. Na resistência mecânica a penetração (RP), os sistemas que receberam as operações de aração e escarificação não apresentaram valores altos de RP na superfície. Foi observado um efeito descompactador da haste sulcadora da semeadora na linha de semeadura.

Verificou-se baixa variação dos dados da RP em relação à média, com semivariograma esférico e com grau de dependência espacial forte no perfil. Nos mapas da RP no perfil do solo, os sistemas T0 e T4 apresentaram valores altos de RP na superfície do solo.

Nos sistemas de manejo, as características agronômicas do milho não tiveram diferenças significativas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, R. C.; CABEZAS, W. A. L.; CRUZ, J. C.; SANTANA, D. P. Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 22, p. 25-36, 2001.

ARTES, R. Aspectos estatísticos da análise fatorial de escalas de avaliação. Revista de Psiquiatria Clínica, São Paulo, v. 25, p. 223-228, 1998.

BARROS, Z.X.; CAMPOS, S.; CARDOSO, L. & POLLO, R.A. Estatística multivariada e contraste ortogonal aplicados a variáveis do relevo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.22, p.249-257, 2002.

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

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

BOLLER, W.; KLEIN, V. A.; DALLMEYER, U. A. Semeadura de milho em solo sob preparo reduzido. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 22, p. 123-130, 1998.

BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; SILVA, S. de A.; de QUEIROZ, D. M.; de SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L. Variabilidade espacial da resistência a penetração em um Latossolo Vermelho distroférico. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife, v.6, p.331-336, 2011.



CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 24, p. 161-169, 2000.

CARVALHO FILHO, A.; CENTURION, J. F.; da SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; CARVALHO, L. C. C. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal. v. 27, p. 229-237, 2007.

CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I. Sistemas de preparo de solos de cerrado: efeito nas propriedades físicas e na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 27, p. 315-324, 1992.

CENTURION, J. F. ROQUE, C. G.; CENTURION, M. A. P. da C.; PRADO, R. de M. Manejo mecânico e cultura de cobertura na entrelinha da seringueira (pb 235 e rrim 701) e os atributos físicos de um Latossolo Vermelho no planalto paulista. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 28, p. 7-13, 2004.

CRUZ, A.C.R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C.A.; SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, p.1105-1112, 2003.

CRUZ, J. C.; FILHO, I. A. P.; ALVARENGA, R. M.; SANTANA, D. P. Plantio direto e sustentabilidade do sistema agrícola. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte. v. 22, p. 13-24, 2001.

CLAESSEN, M.E.C. (Org.). *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p.

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

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 2006. 370p.

FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. Brasília. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.38, p.947-953, 2003.

FREDDI, O.S. Avaliação do intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho cultivado com milho. 105p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2007.

FREDDI, O. da S.; FERRAUDO, A. S.; CENTURION, J. F. Análise multivariada na compactação de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, p. 953-961, 2008.

FREDDI, O. da S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, p. 627-636, 2009.

FREDDI, O. da S.; CENTURION, J. F.; DUARTE, A. P.; LEONEL, C. L. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho. I – características de planta, solo e índice S. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 33, p. 793-803, 2009.

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R.; de REZENDE, A. V.; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. A. Fertilidade do solo. 2001. 261f. Especialização (“Lato Sensu”). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

GABRIEL FILHO, A.; PESSOA, A. C. dos S.; STROHHECHER, L.; HELMICH, J. J. Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura de mandioca em

condições de adubação verde com ervilhaca e aveia preta. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.30, p. 953-957, 2000.

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

GUIMARÃES, E.C. *Geoestatística básica e aplicada*. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 77p. (Apostila).

KIEHL, E.J. *Manual de edafologia: relação solo-água-planta*. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 262p.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 32, p.945-953, 2002.

LAFLEN, J. M.; AMEMIYA, M.; HINTZ, E. A. Measuring crop residue cover. *Journal of Soil and Water Conservation*, Ankeny, v. 36, p. 341-343, 1981.

LANDAU, E.C., SANS, L.M.A. & SANTANA, D.P. *Cultivo do milho: clima e solo*. Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção 1. Versão eletrônica. 8ª edição. Out./2012. Disponível em: <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_5\\_ed/climaesolo.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_5_ed/climaesolo.htm)>. Acesso em 30 de setembro de 2014.

LANDIM, P.M.B. *Análise estatística de dados geológicos*. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998. 226p. (Ciência e Tecnologia).

LANZANOVA, M. E. Atributos físicos do solo em sistemas de culturas sob plantio direto na integração lavoura-pecuária. 2005. 142f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2005.

LEITE, L. F. C.; GALVÃO, S. R. S.; NETO, M. R. H.; ARAÚJO, F. S.; IWATA, B. F. Atributos químicos e estoques de carbono em Latossolo sob plantio direto no cerrado do Piauí. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.14, p.1273–1280, 2010.

LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S. Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.45, p.89-98, 2010.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Interpretação de análise de solo: conceitos e aplicações. ANDA, Associação Nacional para Difusão de adubos. *Boletim Técnico* nº2. 2004. 50 p.

MAHL, D.; da SILVA, R. B.; GAMERO, C. A.; SILVA, P. R. A. Resistência do solo à penetração, cobertura vegetal e produtividade do milho em plantio direto escarificado do milho em plantio direto escarificado. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 30, supl., p. 741-747, 2008.

MANUAL DE ADUBAÇÃO E DE CALAGEM PARA OS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E DE SANTA CATARINA. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. 10.ed. Porto Alegre. 2004. 400p.

MOREIRA, C. A.; JUNIOR, R. B.; MARTINS, F. P.; SILVEIRA, G. M. da; COSTA, J. A. de S. Comparação entre três sistemas de manejo do solo em cultura de milho. *Bragantia*, Campinas. v. 44, p. 579-585, 1985.

MUZARANA, M.; LEVIEN, R.; MÜLLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo do solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. *Revista Brasileira de Ciências do solo*, Viçosa v. 35, p. 1197-1206, 2011.

MUZILLI, O.; VIEIRA, M. J.; ALMEIDA, F. L. S.; de NAZARENO, N. R. X.; CARVALHO, A. O. R.; LAURENTI, A. E.; LLANILO, R.F. Comportamento e

possibilidades da cultura do milho em plantio direto no estado do Paraná. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília. v. 18, p. 41-47, 1983.

NOGUEIRA, M. C. S. Experimentação agrônômica I. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2007. 463p.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. Revista Ciências Exatas e Naturais, Porto Alegre, v. 6, p. 98-111, 2004.

PEGORARE, A. B.; FEDATTO, E.; PEREIRA, S. B.; SOUZA, L. C. F.; FIETZ, C. R. Irrigação suplementar no ciclo do milho “safrinha” sob plantio direto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.13, p. 262–271, 2009.

RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. de C.; GUIMARÃES, M. de F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.12, p.381–384, 2008.

REICHERT, J.M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J.A. Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. Ciência & Ambiente, Santa Maria, v. 27, p. 29-48, 2003.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S. da; REICHERT, J.M. (Ed.). Tópicos de Ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, v.5. p.49-134.

REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; SUZUKI, L.E.A.S. Qualidade física dos solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, v. 16, 2006. Anais... Aracaju, SBCS, 2006. CD-ROM.

RIBEIRO, C. A. Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração em áreas mecanizadas em função do número de cortes da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). 69p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2010.

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

ROBERTSON, G. P. GS+: Geostatistics for the environmental sciences. Michigan. Gamma Desing Software. 151p. 1998.

RODRIGUES, F. S. Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração em área sob sistema plantio direto. 47f. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados-MS.

ROQUE, M. W.; MATSURA, E. E.; de SOUZA, Z. M.; BIZARI, D. R.; de SOUZA, A. L. Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, v. 32, p. 1827-1835, 2008.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. Preparo convencional. Disponível em <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_84\\_22122006154841.html#](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_84_22122006154841.html#)> Acessado em: 31 de julho de 2014.

SECCO, D.; da ROS, C. O.; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 29, p. 407-414, 2005.

SILVA, M. A. S. da; MAFRA, á. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIENICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em

um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.35, p. 544-552, 2005.

SNEATH, P.H.A.; SOKAL, R.R. *Numerical taxonomy*. San Francisco: W.H. Freeman. 1973, 573p.

SOUZA, Z. M. ALVES M. C. propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, p. 133-139, 2003.

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

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.15, p.229-235, 1991.

VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. *Biologia dos solos dos Cerrados*. Planaltina. Embrapa-CPAC. 1997, 524p.

STOLF, R.; MURAKAMI, J. H.; MANIERO, M. A.; SOARES, M. R.; SILVA, L. C. F. Incorporação de régua para medida de profundidade no projeto do penetrômetro de impacto Stolf. In: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 50, 2011, Cuiabá. Anais... Cuiabá: SBEA, 2011. p. 1-10. CD-ROM.

TOGNON, A.A.; DEMATTÊ, J.L.I.; DEMATTÊ, J.A.M. teor e distribuição da matéria orgânica em Latossolos das regiões da floresta amazônica e dos cerrados do Brasil central. *Scientia agrícola*, Piracicaba, v. 55, p. 343-354, 1998.

VALENTIN, J. L. Agrupamento e ordenação. *Oecologia Brasiliensis*, Rio de Janeiro, v. 2, p. 27-55, 1995.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudo da variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V., V.H. & SCHAEFER, G.R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, p.1-54.

VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C. & REYNOLDS, W.D. Handbook for geoestatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ, V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V. & COSTA, J.M. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2, p.1-45.

ZILLI, J. E. RUMJANEK, N. G; XAVIER, G. R.; COUTINHO, H. L. C; NEVES, M. C. P. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v.20, p.391-411. 2003.

ZIMBACK, C.R.L. Análise especial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. 2001. 114p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.