

RELAÇÕES MASSA-VOLUME DO SOLO, VARIABILIDADE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO E PRODUTIVIDADE DO MILHO EM SISTEMAS DE MANEJO

KAMILA BORGES CASTILHO¹, JORGE WILSON CORTEZ¹, NELCI OLSZEWSKI²,
ALESSANDRA MONTEIRO SALVIANO³, SÁLVIO NAPOLEÃO SOARES ARCOVERDE¹

¹Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, Rodovia Dourados-Itahum, km 12, Cidade Universitária, CEP: 79.804-970, Caixa-Postal: 533, Dourados, MS, Brasil. kamila_castilho45@hotmail.com; jorge.cortez@yahoo.com.br; salvionapoleao@gmail.com.

²Engenharia Agrícola e Ambiental, Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Av. Antônio C. Magalhães, 510, Country Club, CEP:48902-300, Juazeiro, BA, Brasil. nelci.olszewski@univasf.edu.br.

³Embrapa Semiárido, Rodovia BR-428, Km 152, s/n - Zona Rural, CEP: 56302-970, Petrolina, PE, Brasil. alessandra.salviano@embrapa.br.

RESUMO: Estudos envolvendo as características do solo permitem melhor utilização e aplicação de tecnologias agrícolas, visando a adequada capacidade produtiva. Assim, o trabalho teve por objetivo a avaliação da influência de sistemas de manejo nas relações de massa-volume, na variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e na produtividade da cultura do milho. Foram utilizados seis sistemas de manejo em latossolo vermelho distroférrico: sem preparo (T0); uma operação de escarificação (T1); duas escarificações e uma gradagem niveladora (T2); uma aração e quatro gradagens destorroadoras-niveladoras (T3); uma gradagem destorroadora-niveladora (T4); uma escarificação e uma gradagem destorroadora-niveladora (T5). Os valores de densidade e porosidade total observados foram considerados dentro da faixa adequada para solos argilosos. A macroporosidade apresentou valores críticos de aeração nas três camadas avaliadas dos sistemas T0 e T2, na camada de 0,00-0,05 m no sistema T3 e em todos os sistemas na camada de 0,20-0,25 m. Na espacialização da RP houve variações dos dados nos perfis do solo, sendo possível observar valores altos e muito altos (>4 MPa), que podem causar restrição ao desenvolvimento radicular das plantas. Não houve diferenças entre os sistemas de manejo na avaliação da produtividade.

Palavras-chaves: agricultura de precisão, compactação do solo, geoestatística.

MASS-VOLUME RELATIONSHIPS, SPATIAL VARIABILITY OF THE SOIL MECHANICAL RESISTANCE TO PENETRATION AND CORN YIELDS IN MANAGEMENT SYSTEMS

ABSTRACT: The application of technology is necessary, especially in agricultural research that studies the soil and its productive capacity. The aim of this study was to evaluate the physical characteristics of the soil and spatial variability of penetration resistance in the soil profile in cropping systems and their influence on yields in a Dystroferic Red Latosol (oxisol) in area consisting of six management systems. The density and total porosity was considered adequate; the macroporosity critical limits aeration and microporosity was considered adequate. In the maps RP there were variations of the soil data profiles, which can be observed very high peak values and RP (> 4 MPa), which may cause restriction of root growth. There were no significant differences between management systems in productivity assessment.

Keywords: precision agricultural, compression, geostatistics.

1 INTRODUÇÃO

A produtividade agrícola pode ser comprometida pelo excesso ou pela inadequação de práticas às quais o solo é submetido desde o preparo até a colheita das culturas. Embora o objetivo do preparo mecanizado seja melhorar algumas de suas características físicas, conferindo condições adequadas ao crescimento e desenvolvimento das plantas, muitas vezes tem causado deterioração de sua qualidade. Na tentativa de solucionar problemas decorrentes do preparo convencional, surgiram os preparos conservacionistas, que proporcionam menor mobilização do solo e mantêm maior proteção da superfície com os resíduos culturais (RICHART et al., 2005).

O preparo intenso do solo pode levar a degradação, assim sistema reduzido e conservacionistas tem sido adotado (MUZARANA et al., 2011). No entanto, mesmo sem mobilização, podem ser encontrado processos de compactação associados à acomodação natural das partículas ou, de acordo com Collares et al. (2006), associados ao intenso tráfego de máquinas contribuindo para alteração da qualidade estrutural do solo. Ainda, segundo Collares et al. (2006), esta alteração estrutural ocorre em função da reorganização das partículas e de seus agregados, podendo implicar em aumento da densidade e da resistência do solo à penetração, com redução da macroporosidade, podendo, assim, inibir o desenvolvimento radicular.

Além do conhecimento das características do solo, informações sobre a variabilidade espacial de tais características podem ser considerada como essenciais para o manejo agrícola (GREGO & VIEIRA, 2005). Dentre as características físicas para análise em condições de campo destaca-se a resistência do solo à penetração (RP), tanto na variabilidade espacial, como da compactação (STONE et al., 2002). Maiores valores de RP podem afetar o crescimento radicular, devido a diminuição da relação entre porosidade e crescimento radicular, e assim o maior

crescimento ocorre onde existe mais macroporos (ARATANI, 2009). Entretanto, conforme Klein (2014) é importante que a determinação da resistência à penetração seja feita com controle ou determinação da umidade do solo, o que permite evidenciar os efeitos dos sistemas de manejo sobre a estrutura do solo.

Assim, o trabalho teve por objetivo a avaliação da influência de sistemas de manejo nas relações de massa-volume, na variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e na produtividade da cultura do milho.

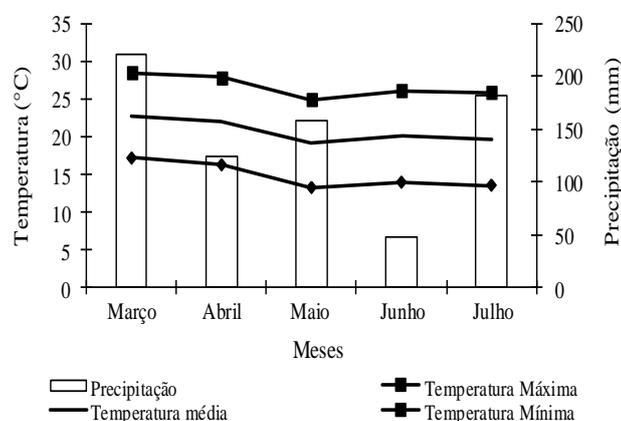
2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Fazenda Experimental da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), no município de Dourados, Mato Grosso do Sul. O solo da área experimental conforme Santos et al. (2013) foi classificado como latossolo vermelho distroférico. O clima é caracterizado como Cwa, conforme Köppen, com precipitação pluvial média anual de 1500 mm e temperatura média anual de 22°C. Os dados meteorológicos mensais durante o ciclo da cultura do milho estão apresentados na Figura 1. A granulometria, a densidade de partículas e a umidade do solo são apresentadas na Tabela 1.

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) em cultivo de milho, entre março e julho de 2014.



Fonte: Embrapa Agropecuária Oeste (2014).

Tabela 1. Granulometria, densidade de partículas (Dp) e umidade do Latossolo Vermelho distroférico da Fazenda Experimental da UFGD.

Profundidades (m)	Argila	Silte	Areia	Dp	Umidade RP
	kg kg ⁻¹			kg dm ⁻³	(kg kg ⁻¹)
0,00-0,10	0,60	0,22	0,18	2,75	0,20
0,10-0,20	0,59	0,22	0,19	2,69	0,19
0,20-0,30	0,62	0,20	0,18	2,84	0,22
0,30-0,40	0,63	0,20	0,17	2,75	0,26
0,40-0,50	0,64	0,19	0,17	2,69	0,28
0,50-0,60	0,65	0,20	0,15	2,79	0,30

Fonte: Castilho et al. (2020).

O preparo das parcelas experimentais para a semeadura do milho ocorreu antes da semeadura da soja de verão em 2013. Após a colheita da soja, o milho foi semeado em sistema de semeadura direta, sem revolvimento do solo. A semeadora-adubadora foi previamente regulada para distribuir 50 sementes por cada 10 metros de semeadura, em segunda safra, utilizando-se milho (*Zea mays* L.) cultivar híbrido BRS1010 no dia 10 de março de 2014. A semeadora-adubadora utilizada possuía dosador tipo discos horizontais perfurados, haste sulcadora para adubo, possuindo cinco linhas para o milho, com dosador de adubo tipo helicóide, roda dupla angulada (V) para compactação. Os demais tratamentos culturais do milho foram realizados conforme recomendações agrônômicas.

Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos foram compostos por seis sistemas de manejo implementados antes da cultura de verão: sem preparo (T0), uma escarificação na profundidade de 0,35 m (T1), duas escarificações e uma gradagem niveladora nas profundidades de 0,35 e 0,15 m, respectivamente (T2), uma aração e quatro gradagens destorroadoras-niveladoras nas profundidades de 0,40 e 0,15 m, respectivamente (T3), uma gradagem destorroadora-niveladora na profundidade de 0,15 m (T4) e, uma escarificação e uma gradagem destorroadora-niveladora nas profundidades de 0,35 e 0,15 m, respectivamente (T5). Cada parcela experimental ocupou uma área de 15 x 19 m (285 m²). 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.

Os equipamentos utilizados no manejo do solo foram: escarificador de cinco hastes, com ponteira estreita de 0,08 m; arado de duas aivecas recortadas; 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.

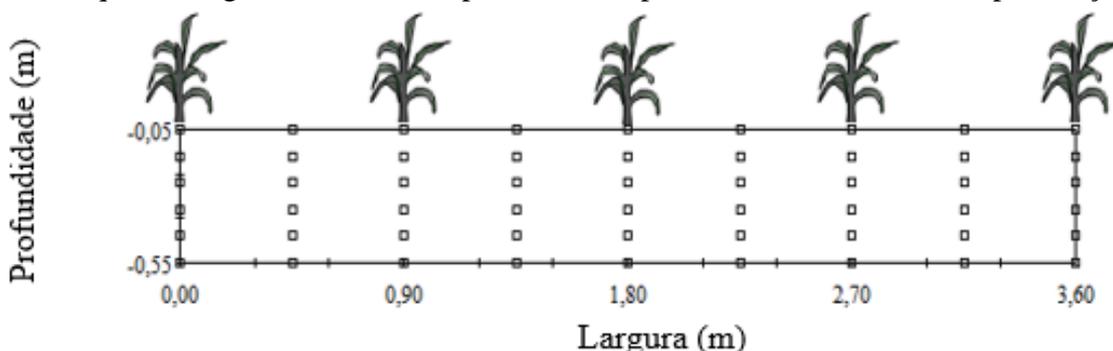
Foram avaliadas as características físicas do solo: densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, de acordo com Donagema et al. (2011), nas camadas de 0,0-0,05, 0,10-0,15 e 0,20-0,25 m. As amostras de solo com estrutura preservada para avaliação de densidade foram coletadas em cada parcela na entrelinha, abrindo-se uma trincheira, e utilizando anéis volumétricos que apresentavam uma das bordas cortantes, com volume de 104,06 cm³. A microporosidade foi determinada nas amostras coletadas com o auxílio dos anéis volumétricos 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.

Coletou-se dados da resistência 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. Os dados de RP foram coletados a cada 0,45 m de largura x 0,10 m de profundidade dentro da faixa de tráfego (cinco linhas da semeadora) até 0,60 m de profundidade, totalizando 54 pontos amostrais, seis camadas x nove pontos (Figura 2). Para obtenção da RP com este equipamento, de acordo com a metodologia proposta por Stolf (1991), utilizou-se a Equação 1:

$$RP = (5,6 + 6,89 \times ((N/(D-A) \times 10) \times 0,0981)) \quad (1)$$

Em que: N = número de impactos efetuados para a obtenção da leitura; e A e D = leituras anteriores (A) e posteriores (D) da realização dos impactos (cm).

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

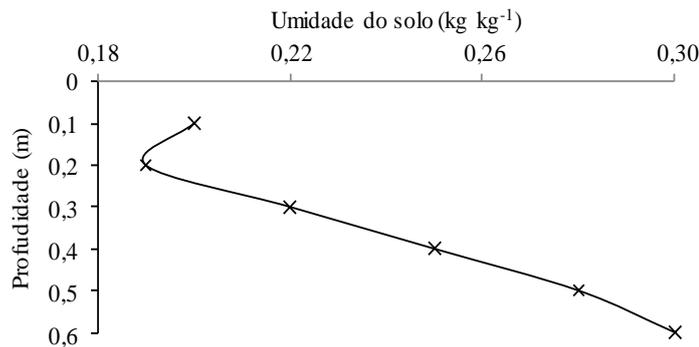


Fonte: Castilho et al. (2020).

Foram coletadas amostras de solo deformadas de forma aleatória na área para a obtenção da umidade média do solo (Figura 3),

sendo determinada por meio da análise gravimétrica conforme Donagema et al. (2011).

Figura 3. Umidade do solo no momento da coleta da resistência do solo à penetração (RP) em função da profundidade (m).



Fonte: Castilho et al. (2020).

Para a avaliação da produtividade, foram colhidas dez espigas nas parcelas que foram trilhadas e suas massas aferidas separadamente por parcela. Seus valores foram corrigidos para 13% de umidade obtendo-se o valor da produtividade por hectare, considerando o estande de 55.000 plantas por hectare.

Os dados das características físicas: densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total e, da produtividade do milho, foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para os dados de RP foi utilizada a estatística descritiva para obtenção de média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, mínimo, máximo, assimetria e curtose. E foi realizada a verificação da dependência espacial e interpolação utilizando a geoestatística. 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).

Em seguida à modelagem dos semivariogramas, foi realizada a interpolação por krigagem ordinária. 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, os perfis de isolinhas

(bidimensionais) foram construídos para o detalhamento espacial.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo na camada de 0,05-0,10 m e de 0,20-0,25 m, não apresentou diferenças entre os sistemas de manejo (Tabela 2). 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 T3 do que no T2. Os valores de densidade estão dentro da faixa considerada adequada, pois para solos argilosos os valores de densidade estão abaixo de $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$ (REICHERT et al., 2015; REICHERT et al., 2014a, REICHERT et al., 2014b).

Brady & Weil (2013) classificam os macroporos e microporos do solo como aqueles com diâmetro maior e menor do que 0,08 mm, respectivamente. As médias da microporosidade e da macroporosidade não apresentaram diferenças entre os tratamentos (Tabela 2), podendo ser reflexo do curto tempo de condução da área experimental. Em todos os sistemas foram encontrados baixos valores de macroporosidade e, principalmente, na profundidade 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 e T2 nas camadas avaliadas, na 0,00-0,05 m no sistema T3 e todos os sistemas na de 0,20-0,25 m podem ser considerados críticos quanto à porosidade de aeração.

Tabela 2. Síntese da análise de variância e do teste de médias para os atributos densidade, macroporosidade, microporosidade, porosidade total do solo e produtividade do milho.

Camadas m	Sistemas de manejo					Teste F	CV (%)	
	T0	T1	T2	T3	T4			T5
Densidade do solo (Mg m ⁻³)								
0,00-0,05	1,25	1,20	1,27	1,24	1,16	1,18	1,45 ^{NS}	5,71
0,10-0,15	1,27 ^{ab}	1,24 ^{ab}	1,28 ^a	1,16 ^b	1,20 ^{ab}	1,25 ^{ab}	3,22 [*]	3,88
0,20-0,25	1,31	1,27	1,26	1,23	1,27	1,34	1,25 ^{NS}	5,65
Microporosidade (m ³ m ⁻³)								
0,00-0,05	0,43	0,43	0,42	0,43	0,42	0,43	0,30 ^{NS}	4,45
0,10-0,15	0,42	0,41	0,44	0,43	0,43	0,41	0,58 ^{NS}	6,92
0,20-0,25	0,47	0,44	0,48	0,45	0,45	0,45	0,71 ^{NS}	6,98
Macroporosidade (m ³ m ⁻³)								
0,00-0,05	0,09 ^a	0,12 ^a	0,10 ^a	0,09 ^a	0,14 ^a	0,12 ^a	3,23	18,2
0,10-0,15	0,10	0,12	0,08	0,13	0,12	0,12	1,26 ^{NS}	29,7
0,20-0,25	0,04	0,08	0,05	0,08	0,07	0,04	1,68 ^{NS}	52,9
Porosidade total (m ³ m ⁻³)								
0,00-0,05	0,53	0,55	0,52	0,53	0,56	0,55	1,45 ^{NS}	4,87
0,10-0,15	0,52 ^{ab}	0,53 ^{ab}	0,52 ^b	0,56 ^a	0,55 ^{ab}	0,53 ^{ab}	3,22 [*]	3,39
0,20-0,25	0,50	0,52	0,53	0,53	0,52	0,49	1,25 ^{NS}	5,26
Produtividade do milho (kg ha ⁻¹)								
Estimada	5159,72	4704,17	4915,28	4679,	4783,3	5068,0	1,03 ^{NS}	7,97
				17	3	5		

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ^{NS}: não significativo ($p \geq 0,05$); ^{*}: significativo ($p < 0,05$); ^{**}: significativo ($p < 0,01$); C.V.: coeficiente de variação. Sem preparo (T0), uma escarificação (T1), duas escarificações e uma gradagem niveladora (T2), uma aração e quatro gradagens destorroadoras-niveladoras (T3), uma gradagem destorroadora-niveladora (T4) e, uma escarificação e uma gradagem destorroadora-niveladora (T5).

Fonte: Castilho et al. (2020).

Tal fato pode ser atribuído à granulometria em que as frações mais finas, silte e argila representam praticamente 80% da composição textural do solo. Desse modo, pode ser esperada maior microporosidade do solo em função de um melhor arranjo estrutural.

Para a porosidade total os valores médios dos sistemas diferiram na camada de 0,10-0,15 m (Tabela 2), sendo maior para o T3 e menor para o T2, podendo ser 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 m³ m⁻³ (BRADY & WEIL, 2013), assim pode-

se observar que os valores estão adequados em todos os sistemas de manejo.

Não houve diferenças na produtividade do milho entre os sistemas de manejo. Provavelmente, em função de os sistemas de manejo terem sido estabelecidos aproximadamente cinco meses antes da semeadura do milho, aliada à quantidade de chuvas durante o seu ciclo (Figura 1).

Os dados de resistência do solo à penetração (RP) para os sistemas de manejo, apresentaram média variando de 3,55 a 4,05 MPa, e uma dispersão média variando entre 0,82 a 1,10 MPa (Tabela 3). Pode-se afirmar que os dados dispersaram pouco em relação à média. Essa afirmação se reforça pelos valores

mínimos (1,22 a 1,39 MPa) e máximos observados (5,11 a 6,12 MPa), mostrando que, além de pouca variação, também não houve valores discrepantes. Quanto à distribuição dos

dados, pode-se observar que os valores de assimetria e de curtose estão próximos de zero, o que indica tendência a distribuição normal dos dados.

Tabela 3. Estatística descritiva dos dados de resistência do solo à penetração (RP) nos sistemas de manejo.

	Sistemas de manejo					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
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
Normalidade	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; R^2 : coeficiente de determinação do teste de normalidade. Sem preparo (T0), uma escarificação (T1), duas escarificações e uma gradagem niveladora (T2), uma aração e quatro gradagens destorroadoras-niveladoras (T3), uma gradagem destorroadora-niveladora (T4) e, uma escarificação e uma gradagem destorroadora-niveladora (T5).

Fonte: Castilho et al. (2020).

Segundo Nogueira (2007) um coeficiente de variação maior do que 35% revela que a série é heterogênea e a média tem pouco significado; se for maior do que 65%, a série é muito heterogênea e a média não tem significado algum, porém, se for menor do que 35% a série é homogênea e a média tem significado. Nesse caso, esta pode ser utilizada como representativa da série em que foi obtida. Considerando esses dados, o perfil da RP em todos os sistemas apresentou série homogênea (Tabela 3).

Em relação aos valores de normalidade, o perfil da RP, nos sistemas T1 e T5 apresentaram valores $p \geq 0,05$, sendo não significativo, com dados normais e distribuição simétrica (Tabela 3). 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, o sistema T0 apresentou o maior valor médio de RP, concordando com resultados obtidos por Bottega et al. (2011) ao analisar um Latossolo Vermelho distroférrico sob o sistema plantio direto com sucessão de cultura. O revolvimento do solo em plantio

direto ocorre só na fileira de semeadura e pode gerar camadas compactadas devido as pressões das máquinas/implementos (CRUZ et al., 2003).

Na confecção dos perfis de espacialização da RP o modelo do semivariograma que melhor se ajustou foi o esférico (Tabela 4).

Para a análise da dependência espacial (ADE) (Tabela 4), são observados valores variando entre 0,81 a 1,00 no perfil da RP, o que indica forte dependência espacial. E os valores de C0 foram próximos de zero o que indica baixo erro.

Ao analisar a espacialização da RP no perfil do solo observam-se alterações dos valores em relação às profundidades (Figura 4). Para Moraes et al. (2014), os valores de RP podem ser comparados tendo como limites de 2,0 MPa para preparo convencional, cultivo mínimo de 3,0 MPa e sem mobilização de 3,5 MPa. Assim, os valores médios de RP (2,0 a 4,0 MPa) foram verificados em todos os sistemas, sendo que T3 e T4 apresentaram esses valores em maior profundidade, provavelmente por esses dois sistemas terem recebido maior número de operações de

preparo e operações mais superficiais, respectivamente.

Os valores altos de RP (4,0 a 6,0 MPa) foram encontrados a partir da camada de 0,15 m para os sistemas T0, T3 e T4, e em torno da camada de 0,20-0,50 m para os sistemas T1,

T2 e T5. Os maiores valores em T4 (grade) com a presença de zonas com maiores valores de RP concentra-se em sistemas de preparo do solo com equipamentos de menor profundidade efetiva de trabalho, como as grades (NAGAHAMA et al., 2016).

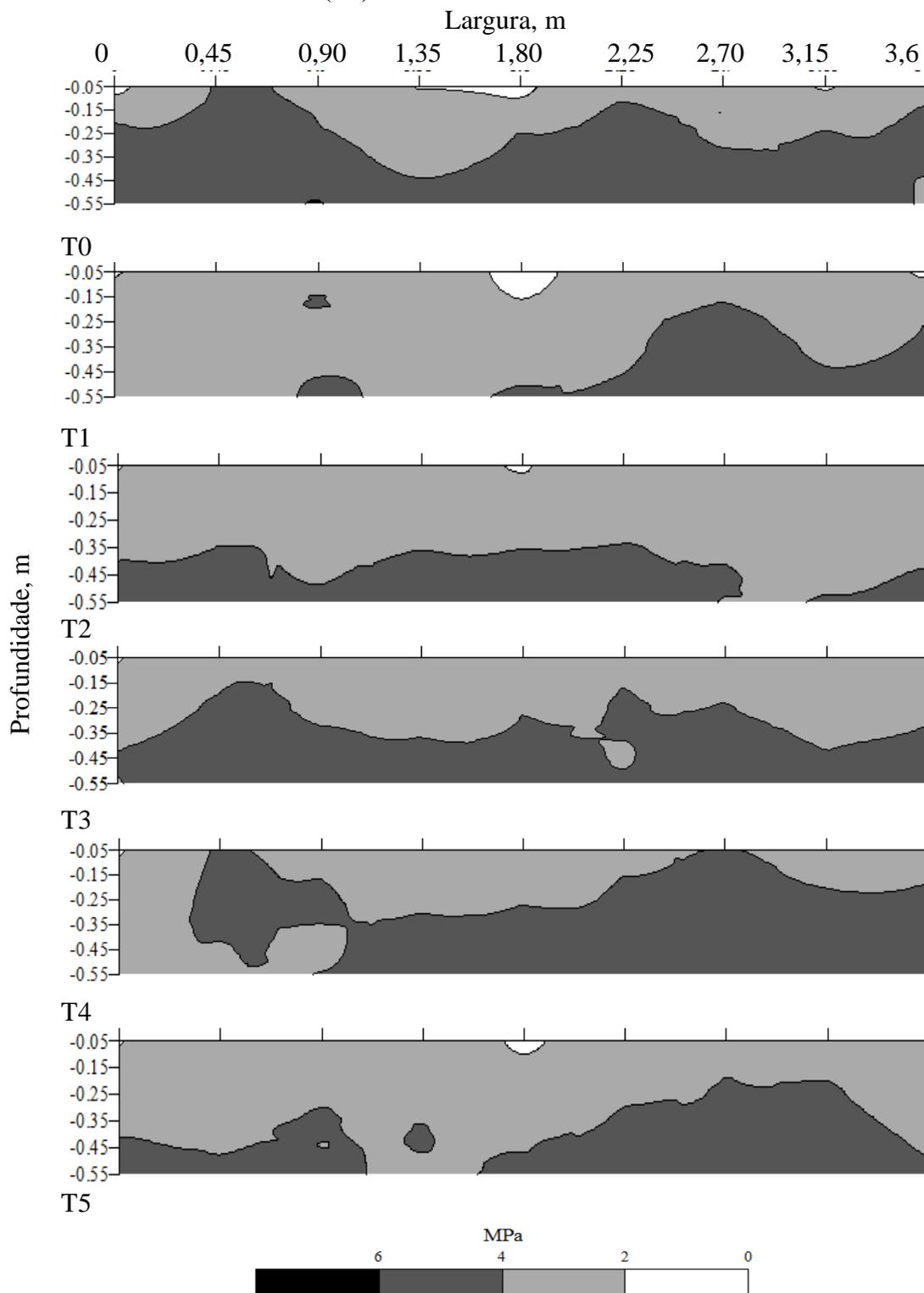
Tabela 4. Dados ajustados do semivariograma e da validação cruzada para resistência do solo à penetração (RP).

	Sistemas de manejo					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Perfil da RP na linha de plantio						
Modelo	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico	Esférico
C0	0,0010	0,0130	0,1040	0,1130	0,1810	0,1120
C0+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 ^{2*}	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 ^{2**}	0,58	0,59	0,37	0,20	0,26	0,47

C0: Efeito pepita; C0 + C: Patamar; A: Alcance; R^{2*}: Coeficiente de determinação do semivariograma; RSS: Soma residual dos quadrados; ADE: Avaliador da dependência espacial; CA: coeficiente angular; CL: coeficiente linear; R^{2**}: Coeficiente de determinação da validação cruzada.

Fonte: Castilho et al. (2020).

Figura 4. Espacialização da resistência à penetração (RP) no perfil do solo para os sistemas de manejo. Sem preparo (T0), uma escarificação (T1), duas escarificações e uma gradagem niveladora (T2), uma aração e quatro gradagens destorroadoras-niveladoras (T3), uma gradagem destorroadora-niveladora (T4) e, uma escarificação e uma gradagem destorroadora-niveladora (T5).



Fonte: Castilho et al. (2020).

Cortez et al. (2016) avaliando diversos sistemas de manejo do solo verificaram

maiores valores de RP para o sistema plantio direto, devido à falta de mobilização do solo,

mas sem afetar a produtividade da cultura da soja. Cortez et al. (2017) verificaram ao comparar plantio direto (PD) e escarificação (ES), que os valores de RP são menores no segundo, e que a produção de soja foi maior na ES em 25,64%, quando comparada ao PD, demonstrando o efeito benéfico de sistemas que utilizam a ES. Já Deperon Junior et al. (2016) verificaram que o aumento da RP acima de 1,53 MPa reduziu linearmente a produtividade de grãos de milho, o que demonstra a maior sensibilidade do milho ao aumento da RP, mas não verificada neste trabalho, provavelmente pelos valores adequados de umidade do solo.

Todos os sistemas que receberam as operações de preparo com escarificação (T1, T2 e T5) apresentaram menor ocorrência de valores altos de RP no perfil (Figura 4), quando comparado com aqueles que não receberam nenhum preparo (T0), ou com aqueles que receberam apenas uma gradagem (T4).

Klein (2014) ressalta que implementos de haste por não promoverem inversão da camada de solo, obtém-se maior capacidade operacional, menor alteração da estrutura do solo e, devido ao seu modo de ação, rompimento do solo nos seus pontos de maior resistência.

No sistema T3 (Figura 4), foi observado no perfil do solo que os menores

4 CONCLUSÕES

Os valores de densidade e porosidade total do solo não são influenciados pelos sistemas de manejo, e estão adequados para solos argilosos.

A resistência do solo à penetração é menor nos sistemas de manejo que utilizam a escarificação.

6 REFERÊNCIAS

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 3, p.677-87, 2009.

BOTTEGA, E.L.; BOTTEGA, S.P.; SILVA, S.A.; QUEIROZ, D.M.; 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, n.2, p.331-336, 2011.

valores de RP estão distribuídos praticamente até a profundidade de 0,35 m, sendo próxima a profundidade de trabalho da aração. O sistema de preparo do solo com o arado de aivecas conforme Costa et al. (2017) apresenta a menor RP, sem afetar a produtividade do milho. E, de acordo com Nagahama et al. (2016), o sistema grade tandem mais arado de aivecas apresentam menores valores de RP nas camadas superficiais do solo.

Com o incremento da profundidade os valores da RP aumentaram (Figura 4), principalmente T0, T3 e T4, segundo Cortez et al. (2011) este aumento possa ser atribuído às pressões imprimidas pelos equipamentos.

Portanto, sistemas com escarificação promovem menor valor de RP no perfil do solo, mas não contribuíram neste trabalho para o aumento da produtividade do milho; provavelmente, pelo pouco tempo de implantação dos sistemas na área experimental. Esses resultados concordam com Seki et al. (2015), os quais 11 meses após o preparo do solo não se observou efeito da escarificação para a cultura do milho, reportando que a escarificação em tem efeito somente para um ciclo de cultura, não tendo efeito residual para outras culturas subsequentes.

Os sistemas de manejo do solo não influenciam a produtividade do milho quando os valores de densidade e porosidade são adequados.

5 AGRADECIMENTOS

A CAPES pela concessão de bolsa de Mestrado do primeiro autor.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704p.

CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G.; CENTURION, M. A. P. DA C.; PRADO, R.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, n.1, p.7-13. 2004.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.11, p. 1663-1674. 2006.

CORTEZ, J.W.; ALVES, A.D.S.; MOURA, R.D.; OLSZEWSKI, N; NAGAHAMA, H.J. Atributos físicos do Argissolo amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.4, p.1207-1216, 2011.

CORTEZ, J.W.; CHAVES, R.G.; ORLANDO, R.C.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, P.H. Penetration resistance and agronomic characteristics of soybean affected by soil management and sowing speed systems. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.36, n.4, p.664-672, 2016.

CORTEZ, J.W.; MAUAD, M.; SOUZA, L.C.F.; RUFINO, M.V.; SOUZA, P.H.N. Agronomical attributes of soybeans and soil resistance to penetration in no-tillage and chiseled surfaces. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.37, n.1, p.98-105, 2017.

COSTA, F.A.M.; CORTEZ, J.W.; NAGAHAMA, H.J.; SOUZA, E.B.; HONORATO, A.C.; OLSZEWSKI, N. Tillage and sowing rate in soil physical and agronomic attributes of maize crop. **Científica**, Jaboticabal, v.45, n.1, p.18-24, 2017.

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, n.6, p.1105-1112, 2003.

DEPERON JUNIOR, M.A.; NAGAHAMA, H.J., OLSZEWSKI, N., CORTEZ, J.W., SOUZA, E.B. Sistemas de preparo e níveis de compactação sobre atributos físicos de Argissolo Amarelo e atributos agrônomicas do milho. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.36, n.2, p.366-376, 2016.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª Ed. Revista. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.2, p.169-177. 2005.
KLEIN, V. A. **Física do solo**. 3. ed. Passo Fundo: Edição Universidade Federal de Passo Fundo, 2014. 263p.

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Critical limits of soil penetration resistance in a rhodic Eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.1, p.288-298, 2014.

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 Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.4, p.1197-1206, 2011.

NAGAHAMA, H.J.; CORTEZ, J.W.; PIMENTA, W.A.; PATROCINIO FILHO, A.P.; SOUZA, E.B. Resistência do solo à penetração em sistemas de preparo e velocidades de deslocamento do trator. **Comunicata Scientia**, Bom Jesus, v.7, n.1, p.56-65. 2016.

NOGUEIRA, M. C. S. **Experimentação agrônômica**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, 2007. 479p.

REICHERT, J.M.; BERVALD, C.M.P.; RODRIGUES, M.F.; KATO, O.R.; REINERT, D.J. Mechanized land preparation in eastern Amazon in fire-free forest-based fallow systems as alternatives to slash-and-burn practices: Hydraulic and mechanical soil properties. **Agric Ecosyst Environ**, v.192, n.1, p.47-60, 2014a.

REICHERT, J.M.; RODRIGUES, M.F.; BERVALD, C.M.P.; BRUNETTO, G.; KATO, O.R.; SCHUMACHER, M.V. Fragmentation, fiber separation, decomposition, and nutrient release of secondary-forest biomass, mechanically chopped-and-mulched, and cassava production in the Amazon. **Agric Ecosyst Environ**, v. 204, n.1, p. 8-16, 2014b.

REICHERT, J.M.; RODRIGUES, M.F.; BERVALD, C.M.P.; KATO, O.R. Fire-free fallow management by mechanized chopping of biomass for sustainable agriculture in eastern Amazon: Effects on soil compactness, porosity, and water retention and availability. **Land Degrad Dev.**, v. 27, n.5, p.1403-1412, 2015.

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, n.3, p.321-344, 2005.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. A., LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.

SEKI, A. S.; SEKI, F. G.; JASPER, S. P.; SILVA, P. R. A.; BENEZ, S. H. Efeitos de práticas de descompactação do solo em área sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 46, n. 3, p. 460-468, 2015.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de formulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.15, n.2, p.229-235, 1991.

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: Congresso Brasileiro De Engenharia Agrícola, Anais... Cuiabá, SBEA. p. 1-10. 2011.

STONE, L.F.; GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro - I: Efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.207-212, 2002.