

Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo a penetração em Latossolo argiloso sob sistema plantio direto

Byankye Martins Pereira¹ e Helton Aparecido Rosa²

Resumo: A implantação do sistema plantio direto foi decisivo no controle da erosão do solo, porém tem provocado alterações negativas no estado estrutural do solo, especialmente em Latossolos argilosos. O objetivo deste trabalho foi avaliar a variabilidade espacial da resistência mecânica do solo a penetração em sistema de plantio direto, visando identificar estados de compactação. O experimento foi realizado em um Latossolo Vermelho Distroférico típico, no município de Cascavel, Paraná. A resistência do solo à penetração foi mensurada na profundidade de 0-10, 10-20 e 20-30 cm utilizando-se um penetrômetro eletrônico em uma área de amostragem de 80 m². Os valores de RP foram avaliados por meio de análise de estatística descritiva e geoestatística. A resistência mecânica do solo à penetração apresentou variabilidade espacial alta para todas as camadas estudadas, sendo que o coeficiente de variação (CV) mais elevado foi o da primeira camada. Os métodos geoestatísticos permitiram o zoneamento da área, definindo assim os locais com maiores valores de resistência mecânica à penetração (RP), assim possibilitando o manejo ideal para a área.

Palavras-chave: geoestatística, compactação do solo, plantio direto

Spatial variability of soil mechanical resistance to penetration in clayey Oxisol under no-till system

Abstract: The deployment of tillage was decisive in the soil erosion control, but has caused negative changes in the structural state of the soil, especially in clayey oxisols. The objective of this study was evaluate the spatial variability of soil mechanical resistance to penetration in tillage system, to identify compacting states. The experiment was conducted in a Hapludox in Cascavel, Paraná. The soil resistance to penetration (RP) was measured at a depth of 0-10, 10-20 and 20-30 cm using an electronic penetrometer in a sampling area of 80 m². RP values were assessed by analysis of descriptive statistics and geostatistics. The mechanical resistance of the soil to the penetration showed high spatial variability for all studied layers, with the highest coefficient of variation (CV) being that of the first layer. Geostatistical methods allowed the zoning of the area, thus defining the sites with higher values of mechanical resistance to penetration (RP), as well as the ideal application for an area.

Key words: geostatistics, soil compaction, no-tillage

Introdução

¹ Acadêmico de Agronomia. Centro Universitário Assis Gurgacz – PR. byankye12@hotmail.com

² Engenheiro Agrícola. Mestre em Energia na Agricultura. Professor do Centro Universitário Assis Gurgacz – Pr. helton@fag.edu.br

Desde meados de 1950 com intuito de aumentar a produção para atender a demanda do mercado de grãos, houve-se incalculáveis investimentos para a modernização da agricultura no Brasil, através da inserção de inovações tecnológicas (MATOS *et al.*, 2011).

Segundo ONU (2012) em reunião no ano de 2012, uma grande e notável reforma na agricultura é necessária para garantir alimentos em nível mundial, visto que até o ano de 2050 estima-se crescimento de dois bilhões na população total do planeta. Pensando nisso, há vários anos, estuda-se possibilidades de melhorar a produção de grãos, para atender total demanda nacional e internacional, por meio de pesquisas com embasamento científico e tecnológico.

Um sistema de tecnologia conservacionista implantado e nacionalmente difundido, visando rendimento de culturas e melhor aproveitamento de solos, é o chamado plantio direto. Barreto *et al.* (2009), relata em suas pesquisas que, neste sistema, é maior a cobertura vegetal no solo, resultando em acúmulo de matéria orgânica e consequente aumento no teor de C orgânico total, o que gera estabilidade na estrutura do solo, através do efeito cimentante na formação e manutenção dos agregados.

Embora existam diversas vantagens no sistema de plantio direto, Bertol *et al.* (2004) afirma que se tem observado a ocorrência de compactação da camada superficial do solo, e Gozubuyuk *et al.* (2014) conclui que relacionado a essa compactação existe aumento da resistência do solo a penetração e consequente redução da macroporosidade.

O vocábulo compactação do solo, mais especificamente concerne-se a compressão de solo não saturado, logo, resulta em aumento da densidade e consequentemente, redução de volume pela expulsão de ar (DIAS JR. e PIERCE, 1996). Com o aumento gradativo de áreas cultivadas em um sistema com menor revolvimento do solo, no caso do sistema plantio direto, nessas áreas tem sido verificada a compactação superficial do solo que está associada ao tráfego de máquinas agrícolas e o não-revolvimento do solo.

Sendo assim, pesquisas comprovam a limitação na adsorção, trocas gasosas, absorção de nutrientes, infiltração e redistribuição de água, atraso na emergência das plântulas e comprometimento do desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea, o que resulta em notável decréscimo na produtividade das culturas (STONE *et al.*, 2002; MODOLO *et al.*, 2008).

Segundo afirma Silva *et al.* (2004), em áreas submetidas ao plantio direto, a distribuição da compactação do solo, foi muito mais visível nas laterais da lavoura, quando comparadas ao centro da mesma.

Logo, o instrumento de sondagem empregado para analisar tais níveis de compactação do solo, é popularmente designado penetrômetro. Dispositivo este, desenvolvido mediante a imprescindibilidade de detecção das profundidades das camadas compactada em múltiplos e diferenciada locais. Além de estimar o comportamento do solo quanto a compactação, o dispositivo ainda reproduz informações sobre conteúdo de água e atributos do solo como: textura, porosidade, estrutura, estabilidade de agregados (CAMARGO; ALLEONI, 1997; SILVA; REINERT; REICHERT, 2000).

A variabilidade espacial, horizontal e vertical, de várias propriedades do solo, incluindo da resistência de penetração do solo (RP), depende de fatores de formação do solo e também de fatores que estão relacionados com o manejo do solo, sendo assim o estudo da variabilidade espacial de atributos do solo é particularmente importante em áreas que se tem diferentes manejos (SOUZA *et al.*, 2001).

UTSET e CID (2001) encontraram comportamento diferentes da variabilidade espacial da RP em condições de solo úmido e de solo seco. Na condição de solo seco, os autores encontraram coeficiente de variação de 25% e ajustaram semi - vario - grama do tipo esférico, já no solo úmido, o coeficiente de variação foi de 80 % e os dados apresentaram efeito pepita puro, mostrando o efeito da variabilidade temporal da umidade do solo na variabilidade espacial da resistência à penetração.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a variabilidade espacial da resistência mecânica do solo a penetração em sistema de plantio direto em Latossolo Vermelho distroférico típico, textura argilosa.

Material e Métodos

O experimento foi realizado na fazenda escola do Centro Universitário da Faculdade Assis Gurgazs - Cascavel, Paraná e tem sua localização, latitude 24°56'23.70"S, longitude 53°30'37.32"O e a 691 m em relação ao nível do mar. O clima é do tipo cfa e apresenta temperatura média anual de 19°C e o solo classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico, textura argilosa (EMBRAPA, 2013).

O tamanho da área do experimento foi de 6.400 m², com dimensões de 80 x 80 m, marcada a cada 20 m em duas direções perpendiculares entre si, totalizando 25 pontos, que foram georreferenciados com auxílio de GPS. As determinações da resistência do solo a penetração foram realizadas com auxílio de um penetrômetro digital da marca Penetrolegger, modelo 0326K1, com armazenamento eletrônico de dados, as leituras foram realizadas a cada 1 cm de profundidade e com ângulo de penetração de 90°.

A análise de estatística descritiva dos dados foi feita com auxílio do pacote estatístico *Software R*, calculando-se as medidas de localização (média, mediana, 1ºquartil, 3ºquartil, mínimo, máximo), medidas de dispersão (desvio padrão, variância, coeficiente de variação), medida de distribuição (assimetria e curtose) e teste de normalidade Shapiro-Wilk.

Foram elaborados mapas temáticos com auxílio do *Software Surfer10*, com objetivo de verificar os lugares da área com maiores problemas de compactação.

Resultados e Discussão

Através da análise de estatística descritiva da resistência mecânica do solo a penetração, verificou-se o maior coeficiente de variação (CV) na camada de 0-10 cm com 30,755%, em seguida a camada de 20-30 cm que foi analisada com 24,435% e por último a camada de 10-20 cm com o menor CV, 22,332% (Tabela 1).

Tabela 1 -Estatística descritiva dos dados de resistência mecânica do solo a penetração (Mpa).

Estatística descritiva	Camadas		
	0-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Média	2,235	2,265	1,926
Mediana	2,240	2,226	1,852
Curtose(k)	-1,211	-0,917	-1,009
Assimetria(As)	0,019	-0,176	0,425
Variância da amostra	0,472	0,255	0,221
Desvio padrão	0,687	0,505	0,470
1º Quartil	1,693	1,955	1,570
3ºQuartil	2,802	2,705	2,360
Mínimo	1,037	1,230	1,230
Máximo	3,497	3,058	2,947
CV (%)	30,755	22,332	24,435

O coeficiente de variação teve uma oscilação de 30,755 % e 22,332% entre as camadas. A classificação segundo Pimentel Gomes (1985), baseada em ensaios agrícolas, muito alto (CV > 30%), alto (CV entre 20% e 30%), médio (CV entre 10% e 20%) e baixo (CV < 10%), assim o presente trabalho possui classificação de muito alto para a camada de 0-10 cm, e alto para as camadas de 10-20 cm e 20-30 cm.

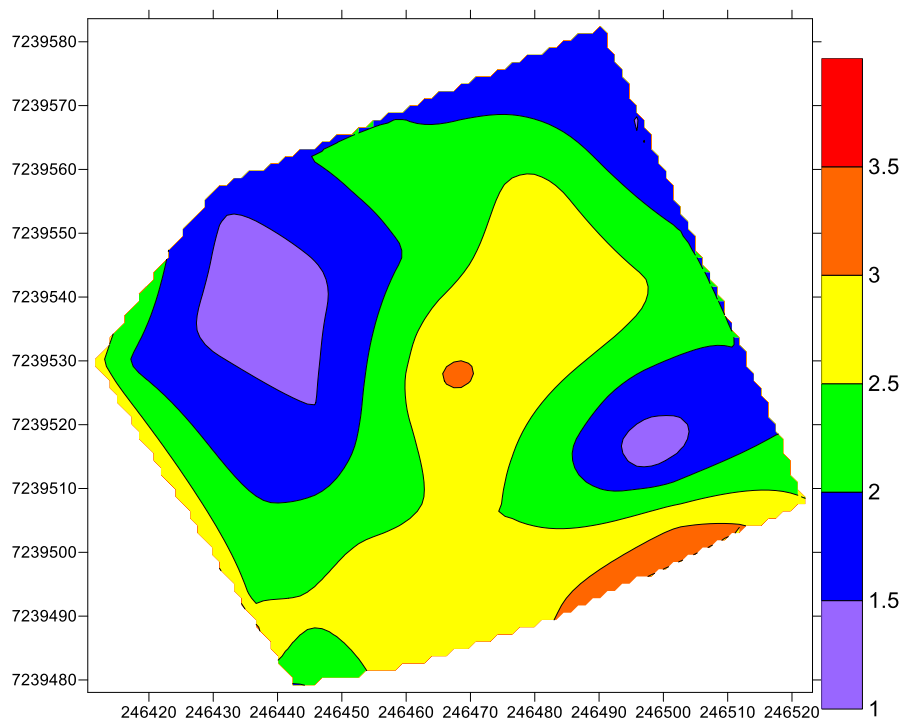
No presente trabalho foi observado um maior CV na camada de 0-10 cm e menor nas de 10-20 cm e 20-30 cm, Marasca (2011) observou um maior CV também na camada de 0-10, com 58,48 e CV de 54,01 e 44,51 respectivamente nas de 10-20 cm e 20-30 cm, sendo todos

considerados como CV muito altos. Já Cancian (2015) observou um maior CV na camada de 10-20 cm com 25,26% e menores nas camadas de 0-10 cm e 20-30 cm, foram 22,04% e 24,81% respectivamente.

Segundo Pearson (As) tem-se a seguinte classificação para assimetria, forte ($|As| > 1,0$), moderada ($0,15 < |As| < 1,0$) e fraca ($|As| < 0,15$), assim o trabalho analisado não possui distribuição assimétrica para os valores de RP (resistência a penetração) entre as camadas, sendo as camadas de 0-10 cm e 10-20 cm classificadas como fraca ($|As| < 0,15$) e a camada de 20-30 cm foi classificada como moderada ($0,15 < |As| < 1,0$). Para Coelho, Cortez, Olszewski (2012) com os resultados encontrados no trabalho todos os valores de RP tiveram distribuição assimétrica ($|As| > 0,15$) em todas as camadas.

A RP da primeira camada teve um intervalo de 1,037 Mpa mínimo a 3,497 Mpa máximo e a maioria dos valores se encontram na faixa de 1,5 – 3 Mpa, Figura 1.

Figura 1 - Mapa da resistência mecânica do solo a penetração (Mpa) para a camada de 0-10 cm.

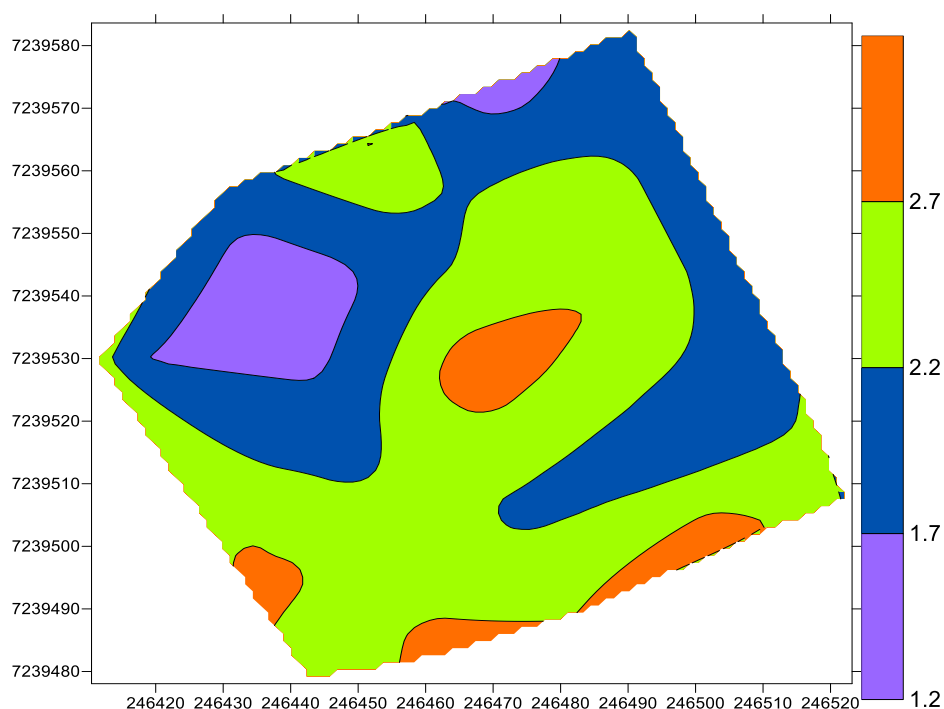


Os resultados deste trabalho mostram que a RP em sistema plantio direto (SPD) na camada de 10-20 cm, foi mais elevada em relação às outras camadas, corroborando com os resultados de De Maria (1999) que verificaram em SPD uma maior resistência mecânica do solo a penetração para a mesma camada de 10-20 cm.

A média de RP para as camadas foram de 2,235 Mpa para a camada de 0-10 cm, 2,265 Mpa para a camada de 10-20 cm e 1,926 Mpa na camada de 20-30 cm. Os seguintes valores estão de acordo com os obtidos por Secco (2003), para a mesma classe de solos em exploração de plantio direto e culturas anuais.

Na segunda camada a RP teve um intervalo de 1,230 Mpa mínimo a 3,058 Mpa máximo, sendo que a maioria de seus valores estão na faixa de 1,7 – 2,7 Mpa, figura 2. Para Bottega (2011), a camada compreendida entre 12 e 16 cm apresentou maior média dos valores de resistência do solo à penetração, resultados que corroboram com o presente trabalho, que apresentou as maiores médias na camada 10-20 cm.

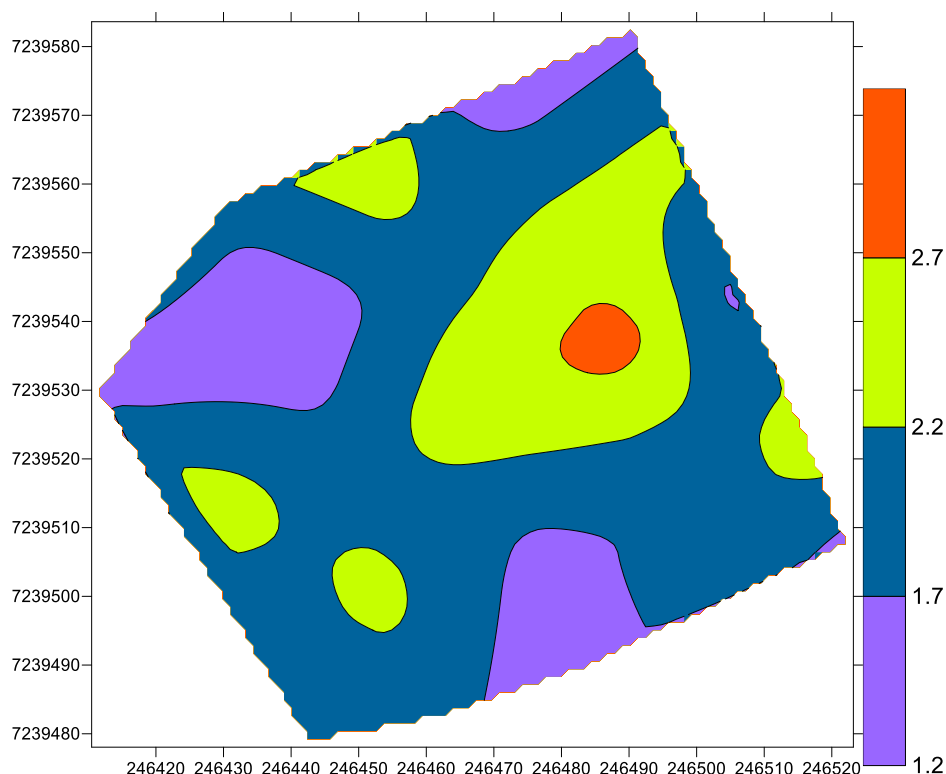
Figura 2 - Mapa da resistência mecânica do solo a penetração (Mpa) para a camada de 10-20 cm.



Para a terceira camada a RP teve um intervalo de 1,230 Mpa mínimo a 2,947 Mpa máximo, sendo que a maioria dos valores ficam na faixa 1,7 a 2,2 Mpa, Figura 3.

As avaliações feitas neste trabalho foram constatadas em área sob SPD, a umidade do solo no dia da análise estava próxima da capacidade de campo (CC), assim a maior resistência média foi na camada de 10-20cm que teve 2,265 Mpa. Já para Silva (2017) a umidade média encontrada foi de 31% e os valores médios encontrados para as profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-30 cm, foram de 4,01; 5,18 e 5,12 Mpa, respectivamente, sendo também a camada de 10-20 cm a com maior resistência média.

Figura 3 - Mapa da resistência mecânica do solo a penetração (Mpa) para a camada de 20-30 cm.



Para Silva (2004) o maior estado de compactação em Latossolo Vermelho distroférico típico variou de 2,11 a 2,80 Mpa, o médio ficou entre 1,60 a 2,10 Mpa e o menor estado de compactação variou de 0,20 a 1,59 Mpa, assim com os resultados dos mapas de RP, aceita-se a hipótese de que as máquinas que trafegam em SPD tem influência na compactação do solo. De acordo com Tormena (2002) avaliando os resultados RP constataram-se maiores valores no SPD até a profundidade de 25 cm.

A análise de geoestatística evidenciou que a RP apresentou conforme descrito nos mapas várias manchas, o que indica maior ou menor estado de compactação. Os valores médios de RP nas profundidades variaram de 1,926 a 2,265 Mpa. Segundo Marasca (2011) este comportamento pode ser explicado pelo tráfego excessivo de máquinas ao longo do tempo em SPD.

De acordo com Bottega (2011), as variações de RP podem estar associadas ao o tráfego inadequado de máquinas agrícolas na área, em condições de umidade acima da faixa denominada friável, que seria a considerada ideal para os trabalhos mecanizados.

Nos mapas é possível observar as áreas que apresentaram maior resistência mecânica, através destes mapas é possível identificar as áreas com estado de compactação mais críticos

para cada camada, assim verificado deve se realizar operações com máquinas e equipamentos para o preparo do solo, como no caso se fazer a operação de descompactação subsuperficial ou uma subsolagem, isto é, romper camadas compactadas através de equipamentos mecanizados que operam em profundidades ligeiramente maiores do que as normalmente empregadas com implementos de preparo de solo. Outra forma de descompactação a ser empregada é a biológica, que está associada ao desenvolvimento de raízes de plantas, cujo sistema radicular seja suficientemente vigoroso para penetrar e romper camadas compactadas, deixando após sua decomposição macroporos no solo.

Segundo Camargo (1997), à sintomas de compactação que podem ser observados tanto na planta quanto no solo. Por este motivo se torna imprescindível o diagnóstico técnico utilizando aparelhos específicos e sempre tomar cuidado para não confundir danos causados pela compactação com danos causados por seca ou doenças.

Conclusão

A resistência mecânica do solo à penetração apresentou variabilidade espacial alta para todas as camadas estudadas, sendo que o coeficiente de variação (CV) mais elevado foi o da primeira camada.

Os métodos geoestatísticos permitiram o zoneamento da área, definindo assim os locais com maiores valores de resistência mecânica à penetração (RP), assim possibilitando o manejo ideal para a área.

Referências

- ACCIOLY, C.V. **Assimetria e curtose (Aula 10)**. Disponível em: <
<http://www1.eeg.uminho.pt/economia/priscila/intocaveis/FMIE04/links/assimetriacurtose.pdf>
 >. Acesso em: 28 de outubro de 2017
- BARRETO, R.; MADARI, B. E.; MADDOCK, J.; MACHADO, P.L.O.A; TORRES, E.; FRANCHINI, J.; COSTA, A.R. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 132, p. 243- 251, 2009.
- 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**, v. 28, p. 155-163, 2004.
- BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; SILVA, S. A.; QUEIROZ, D. M.; SOUZA, C. M.A.; RAFULL, L. Z. L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um

Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.2, p. 331-336, 2011.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba – SP, Degaspar, 1997. 132p

CANCIAN, L.C. **Variabilidade espacial da resistência a penetração, granulometria e umidade do solo**. Pós-graduação em Agronomia - Agricultura e ambiente, Universidade Federal de Santa Maria. Dissertação (Mestrado), 2015.

DE MARIA, I. C. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em latossolo roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa – MG, v.23, 703-709, 1999.

DEPARTAMENTO DE INFORMAÇÃO PÚBLICA DAS NAÇÕES UNIDAS. **Fatos sobre alimentação**. Rio + 20 o futuro que queremos. Rio de Janeiro, junho, 2012. Disponível em: <http://www.onu.org.br/rio20/alimentacao.pdf>. Acessado em 18 de outubro de 2016 às 09h04min.

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

GOZUBUYUK, Z.; SAHIN, U.; OZTURK, I; CELIK, A.; ADIGUZEL, M.C. **Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semiarid region with a cool climate**. Catena, v. 118, p. 195-205, 2014.

MARASCA, I.; OLIVEIRA, C.; GUIMARÃES, E.; CUNHA, J.; ASSIS, R.; PERIN, A.; MENEZES, L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água em sistema de plantio direto na cultura da soja. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 239-246, 2011.

MATOS, P. F.; PESSOA, V. L. S. **Modernização da agricultura no brasil e os novos usos do território**. Geo UERJ - Ano 13, nº. 22, v. 2, 2º semestre de 2011 p. 290-322 - ISSN 1981-9021.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. São Paulo: Nobel, 1985. 467 p

SECCO, D. **Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas**. 2003. 108f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

SILVA, F. J.; OLIVEIRA, C. A. A.; ALMEIDA, L. S.; LIMA, L. P.; GUIMARÃES, E. C. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e produtividade do milho. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n. 3, p. 77-84, jul. /set. 2017.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 399-406, 2004.

- 282 SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S; GUIMARÃES, G. L.; CAMPOS, D. T. S.; CARVALHO,
283 M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo
284 Vermelho Distrófico sob semeadura direta. Em Selvíria, MS. **Revista Brasileira de Ciência**
285 **do Solo**, v.25, p.699-707, 2001.
- 286
287 STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura
288 do feijoeiro-1: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de**
289 **Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-12, 2002.
- 290
291 TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, C. A. Densidade,
292 porosidade e resistência à penetração em latossolo cultivado sob diferentes sistemas de
293 preparo do solo. **Scientia Agrícola**, v.59, n.4, p.795-801, out./dez. 2002