

AGRICULTURA DE PRECISÃO: RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO

JORGE WILSON CORTEZ¹, DIANDRA PINTO DELLA FLORA², DARIO ALEXANDRE SCHWAMBACH³

¹Dr. em Agronomia, Prof. Ass. da UFGD, Dourados-MS, jorgewcortez@gmail.com;

²Dra. em Agronomia, Timac Agro, Dourados-MS, diandradellaflora@gmail.com;

³M. Sc. em Engenharia Agrícola, Dourados-MS, darios_chwambach@yahoo.com;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
07 a 10 de outubro de 2024

RESUMO: Objetivou-se com este trabalho avaliar a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração (RP) e da profundidade de ocorrência da resistência máxima em área comercial de soja e milho. A coleta de dados ocorreu em propriedade do município de Ponta Porã – MS, em talhão de 92,48 ha. A grade amostral foi de 55 pontos, sendo três replicações por ponto. Para a coleta de dados da RP utilizou-se penetrômetro eletrônico até a profundidade de 0,40 m. Os dados foram analisados por meio da estatística descritiva e a geoestatística. A RP média da área, até a profundidade de 0,40 m, não indicou valores limitantes ao desenvolvimento radicular. No entanto, ao analisar a variabilidade espacial da área por meio da RP máxima do ponto amostral, verificou-se valores críticos de RP, ou seja, acima de 4000 kPa. O uso do valor médio da RP do ponto pode levar a erro de interpretação do real estado de compactação do solo, devendo ser utilizado o valor máximo da RP que se encontra no ponto amostral e a profundidade que a mesma é encontrada.

PALAVRAS-CHAVE: Geotecnologias, compactação do solo, penetrômetro eletrônico.

PRECISION AGRICULTURE: SOIL RESISTANCE TO PENETRATION

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the spatial variability of soil penetration resistance (PR) and the depth of occurrence of maximum resistance in a soybean and corn commercial area. Data collection took place on a property in the municipality of Ponta Porã – MS, in a plot of 92.48 ha. The sampling grid was 55 points, with three replications per point. An electronic penetrometer up to a depth of 0.40 m was used for PR data collection. Data were analyzed using descriptive statistics and geostatistics. The mean PR of the area, up to a depth of 0.40 m, did not indicate limiting values for root development. However, when analyzing the spatial variability of the area by means of the maximum PR of the sampling point, critical PR values were verified, i.e., above 4000 kPa. The use of the average value of the PR of the point can lead to an error in the interpretation of the real state of soil compaction, and the maximum value of the PR that is found at the sampling point and the depth at which it is found should be used.

KEYWORDS: Geotechnologies, soil compaction, electronic penetrometer.

INTRODUÇÃO

A análise da compactação do solo por meio da penetrometria é uma técnica de fácil utilização principalmente com o uso de penetrômetros eletrônicos (FALKER, 2010) que indicam a resistência do solo à penetração (RP). A RP pode ser impeditiva ao crescimento radicular, sendo necessário sua mensuração, principalmente em áreas de plantio direto onde ocorre constante tráfego de máquinas e nenhum preparo do solo.

Para verificar a necessidade de descompactação de uma área deve-se atentar aos limites críticos da RP, que foram estabelecidos por diversos pesquisadores, dentre os quais pode-se citar: Ribeiro (2010) que definiu limites para solos argilosos sem compactação (0-2 MPa), compactação tolerável (2-4 MPa), compactado (> 4,0 MPa) e muito compactado (> 6,0 MPa); já Moraes et al., (2014) especificam valores limitantes ao desenvolvimento radicular de 3,5 MPa (3500 KPa) para área de solo argiloso em plantio direto.

Outros pesquisadores avaliaram a variabilidade espacial da RP e constataram que o uso do valor médio da RP pode levar a resultados errôneos quanto aos procedimentos de manejo do solo, e no caso verificaram que foi superestimado a área com regiões de RP (2000-3000 kPa), e subestimado as áreas com 3000 a 5000 kPa (Cortez et al., 2018a); já Cortez et al. (2018b) verificaram que se deve evitar o uso de espacialização do RP por médias, e a recomendação de escarificação/subsolagem deve baseada pelo valor máximo de RP do perfil do solo.

Cortez et al. (2018b) citam que o uso das ferramentas de agricultura de precisão permitiu verificar a necessidade de realizar a escarificação/subsolagem apenas em parte da área, de forma localizada. Em trabalho comparando área de plantio direto e escarificado foi constatado que o uso da escarificação reduziu a resistência à penetração permitindo a maior produtividade da soja (Cortez et al. 2017).

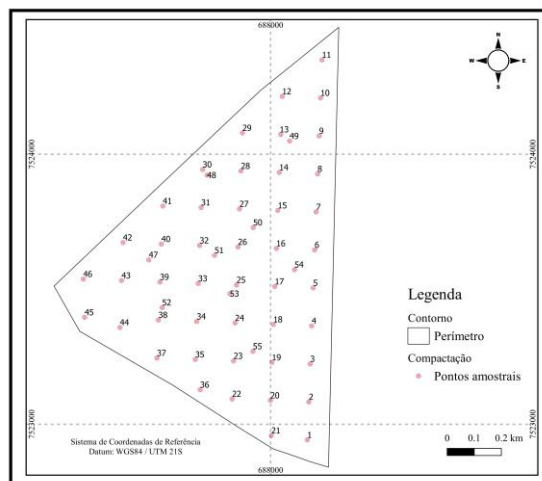
Assim, objetivou-se avaliar a variabilidade espacial da resistência à penetração e da profundidade de ocorrência da resistência máxima em área de cultivo comercial de grãos com sucessão de soja e milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em propriedade comercial do Município de Ponta Porã – MS com área de 92,48 há e altitude média de 442 m. A área é de sucessão de soja e milho segunda safra há mais de 20 anos. O relevo do local é considerado plano (0-3%) com área mais ao sul classificado como suavemente ondulado (3-8%) (EMBRAPA, 2013). O clima é do tipo CWa (Köppen, 1948).

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho distrófico, textura argilosa (Santos et al., 2018), com dados médios de argila de 43,28%, silte com 8,73% e areia com 48,30% na camada de 0-20 cm. A grade amostral regular para a coleta dos dados foi de com 55 pontos (Figura 1). A data coleta foi em 20/10/2020 com três replicações por ponto.

Figura 1. Grade amostral utilizada para coleta da resistência do solo à penetração.



Fonte: Os autores (2024)

A coleta da RP foi realizada com conjunto quadriciclo com amostrador de solo, penetrômetro eletrônico e coletor de dados. O penetrômetro eletrônico utilizado foi o SoloStar (FALKER, 2010), modelo PLG5500, com sistema automatizado para medição da resistência mecânica do solo à penetração, equipado com haste com cone tipo 2, com resolução de coleta de 10 mm e capacidade de armazenamento de 910 medições. O coletor de dados e sistema de navegação (GNSS) em campo utilizado foi o modelo FBX3050, da empresa Falker Automação Agrícola (FALKER, 2013), que serviu para geração do contorno da área, confecção da grade amostral e navegação para a coleta de dados com o conjunto.

Coletou-se dados até a profundidade de 0,40 m, sendo avaliado a cada 0,10 m, ou seja, as camadas de avaliação foram de: 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40 m além da RP média da profundidade avaliada, a RP máxima da camada 0-0,40 m perfil e a profundidade da RP máxima em cada ponto.

A RP máxima média (RPM_{max} média) foi obtida da média das três repetições de cada ponto de coleta. A RP máxima do ponto central (RPM_{max} ponto) foi obtida do maior valor de RP encontrado entre os três pontos. A profundidade da RPM_{max} média do ponto central foi obtida da média das três repetições de cada ponto de coleta. A profundidade da RPM_{max} do ponto central foi obtida do maior valor de profundidade encontrado entre os três pontos para a RPM_{max}.

Foram coletadas amostras deformadas de solo nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m de modo aleatório, para o cálculo da umidade do solo.

Os dados foram analisados por meio da estatística descritiva obtendo-se as medidas de tendência central e dispersão. Também foi realizada a geoestatística e a interpolação por Krigagem. Para fazer a análise dos dados e confecção dos mapas utilizou-se o software QGIS (QGIS, 2022) e o SAGA (CONRAD et al., 2015) para fazer a geoestatística dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados médios de umidade do solo foram: 0,0 – 0,10 m de 23,76%; 0,10 – 0,20 m de 24,50%; 0,20 – 0,30 m de 25,21%; 0,30 – 0,40 m de 27,10%. Esses dados de umidade indicam que o solo estava abaixo da capacidade de campo, indicado para análise da compactação do solo.

Os dados da estatística descritiva da RP (Tabela 1) indicam que a média foi baixa em todas as camadas, não chegando nos valores de referência como limitantes ao desenvolvimento radicular como citado por Moraes et al. (2014) de 3,5 MPa (3500 KPa) para área em plantio direto. Já segundo Ribeiro (2010) que definiu limites de RP como: sem compactação (0-2 MPa), compactação tolerável (2-4 MPa), compactado (> 4,0 MPa) e muito compactado (> 6,0 MPa), constata-se que os dados médios de RP se mantiveram com valores de compactação tolerável.

Tabela 1. Resultado da análise descritiva para os dados de resistência do solo à penetração

Parâmetros	Camadas			
	0 a 10 cm	10 a 20 cm	20 a 30 cm	30 a 40 cm
Média (KPa)	989,62	2490,26	2271,30	2036,47
Desvio padrão (KPa)	125,41	131,91	2214,11	230,73
Mínimo	680,71	2109,67	1677,79	1222,00
Máximo	1484,45	2955,94	3030,97	2964,32

Os dados de RP máxima média (RPM_{max} média), RP máxima do ponto (RPM_{max} ponto) e profundidade da RPM_{max} média e ponto estão na Tabela 2. Verifica-se que a RPM_{max} ponto está acima dos valores citados como crítico para as áreas de plantio direto, segundo Moraes et al. (2014). A RPM_{max} média, obtida da média das três replicações, manteve os valores abaixo do crítico conforme Ribeiro (2010) e Moraes et al. (2014). Esse fato mostra que analisar a RP pela média da área, pode ser equivocado, pois esconde onde está o pico de ocorrência da resistência à penetração no solo e a profundidade que a mesma ocorre.

Tabela 2. Resultado das análises descritiva para os dados de resistência do solo à penetração média (RPM_{max} média) e máxima do ponto de coleta (RPM_{max} ponto), como a profundidade média (PROF RPM_{max} média) e máxima (PROF RPM_{max} ponto) de ocorrência

Camada	RPM _{max} média	RPM _{max} ponto	PROF RPM _{max}	PROF RPM _{max}
			média	ponto
Média (KPa)	3220,14	3865,77	18,75	17,17
Desvio padrão (KPa)	332,00	751,87	2,22	5,28
Mínimo	2568,79	2691,05	17,76	7,64
Máximo	4311,51	6849,76	25,49	37,76

Os dados de ocorrência da profundidade da RP_{Max} média e ponto (Tabela 2) indicam pouca variação na média das duas formas de análises, mas quando se analisa os valores de mínimo e máximo, a análise que considera apenas o ponto, teve maior variação entre mínimo e máximo, mostrando que ao fazer a médias das três replicações, pode ocorrer em erro de interpretação.

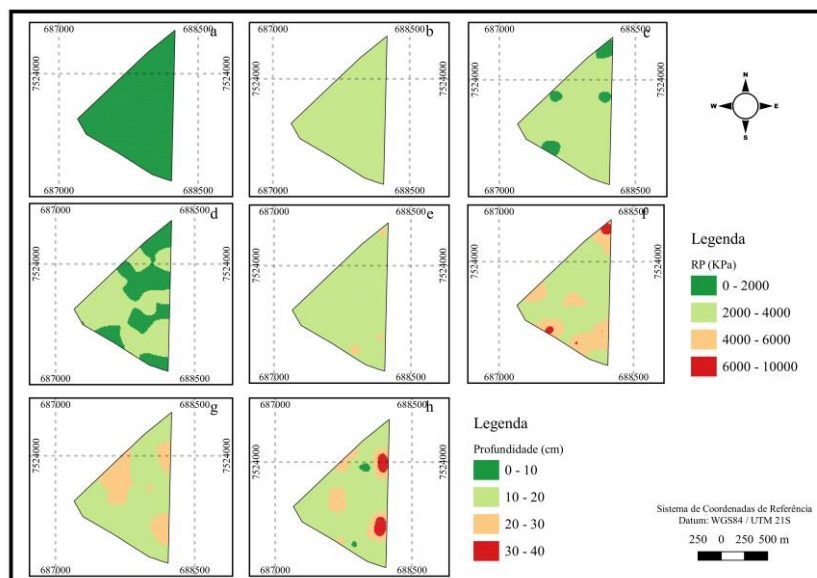
Os dados de RP processados pela geoestatística no SAGA (CONRAD et al., 2015) indicam um ajuste ao modelo esférico para todas as camadas analisadas (Tabela 3). O alcance, que indica até onde vai a dependência espacial dos dados, variou nas camadas, de 200 a 350 m.

Tabela 3. Resultado dos parâmetros da geoestatística feito pelo SAGA com o modelo esférico.

Camada (cm)	Efeito pepita	Patamar	Alcance (m)
0-10	80000	60000	250
10 a 20,0	90000	60000	300
20 a 30,0	20000	80000	300
30 a 40,0	5000	90000	250
RP _{max} média	30000	190000	300
RP _{max} ponto	10000	730000	350
PROFRP _{max} média	12	14	350
PROFRP _{max} ponto	5	50	200

Os resultados da interpolação das camadas avaliadas e profundidade (Figura 2), mostram que as camadas de 0-0,10 cm (Figura 2a); 10-20 cm (Figura 2b), 20-30 cm (Figura 2c) e 30-40 cm (Figura 2d) mostraram mapas nas classes que indicam valores abaixo do crítico conforme Ribeiro (2010) e também de Moraes et al. (2014), ou seja, menor que 2000 kPa.

Figura 2. Espacialização da resistência a penetração (RP) e da profundidade de ocorrência. a: 0-0,10 cm; b: 10-20 cm; c: 20-30 cm; d: 30-40 cm; e: RP máxima média; f: RP máxima ponto; g: profundidade da RP máxima média; h: profundidade da RP máxima ponto.



Fonte: Os autores (2024)

O mapa da RP máxima média (Figura 2e) apresentou algumas manchas em que a RP chegou na classe de 4000 a 6000 KPa. Já na RP máxima ponto (Figura 2f) verifica-se maior quantidade de área com valores de RP de 4000 a 6000 KPa e de 6000 a 10000 kPa, indicando valores críticos de RP, conforme Ribeiro (2010) e também de Moraes et al. (2014). Dessa forma, o mapa da Figura 2f, deve ser tomado como referência para a decisão de onde se deve fazer a descompactação do solo. Pelo mapa da Figura 2e, áreas com valores acima de 4000 kPa precisão passar por processo de

descompactação por meio de escarificação/subsolagem, utilizando a profundidade de referência apresentada na Figura 2h.

Assim, confirma-se aqui, pela visualização dos mapas, que se faz necessário o uso da RP máxima do ponto para fins de determinação das regiões que apresentam maior ou menor compactação do solo. O uso da média pode levar a interpretação errada do estado de compactação do solo.

Esse mesmo tipo de análise serve para interpretar os mapas da profundidade da RPMax média e ponto (Figura 2). Quando se utilizou da média das três replicações ao redor do ponto central (Figura 2g) verifica-se algumas regiões com profundidade variando de 10-20 e 20-30 cm, já quando análise o mapa da profundidade da RP máxima ponto (Figura 2f) encontra-se valores de profundidade até 30-40 cm, não visualizado na anterior.

CONCLUSÃO

A resistência à penetração do solo (RP) média da área até a profundidade de 0,40 m não indicou valores limitantes ao desenvolvimento radicular. No entanto, ao analisar a variabilidade espacial da área por meio da RP máxima do ponto amostral, verificou-se valores crítico de RP, acima de 4000 kPa.

O uso do valor médio da RP do ponto pode levar a erro de interpretação do real estado de compactação do solo, devendo ser utilizado o valor máximo da RP que se encontra no ponto amostral e a profundidade que a mesma é encontrada.

AGRADECIMENTOS

A CAPES pela bolsa de Doutorado da segunda autora.

REFERÊNCIAS

- Conrad, O.; Bechtel, B.; Bock, M.; Dietrich, H.; Fischer, E.; Gerlitz, L.; Wehberg, J.; Wichmann, V.; And Böhner, J. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, 2015.
- Cortez, J. W.; Matos, W. P. Da S.; Arcoverde, S. N. S. Spatial variability of soil resistance to penetration in no tillage system. Engenharia Agrícola, v. 5, p. 697–704, 2018a.
- Cortez, J. W.; Cavassini, V. H.; Motomiya, A. V. de A. Spatialization of soil resistance to penetration for localized management by precision agriculture tools. Engenharia Agrícola, v. 5, p. 690–696, 2018b.
- Cortez, J. W.; Mauad, M.; Souza, L. C. F. De. Agronomical attributes of soybeans and soil resistance to penetration in no-tillage and chiseled surfaces. Engenharia Agrícola, v. 37, n. 1, p. 98–105, 2017.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, Embrapa Solos, 2013. 353p.
- FALKER Automação Agrícola. SoloStar. Porto Alegre: Falker, 2010. 7p.
- FALKER Automação Agrícola. Manual: coletor de dados e navegação em campo. Porto Alegre: Falker, 2013. 31p.
- Koppen, W.P. Climatologia, com un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.
- Moraes, M. T.; Debiassi, 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, v.38, n.1, p.288-298, 2014.
- QGIS.org. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. 2022. Disponível em: <http://www.qgis.org> Acesso em: 03 de fevereiro de 2022.
- Ribeiro, C. A. Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração em áreas mecanizadas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). Jaboticabal: FCAV/UEP: 2010. 85p. Dissertação Mestrado.
- Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; Lumberras, J.F.; Coelho, M.R.; Almeida, J.A.; Araújo, J.C.; Oliveira, J.B.; Cunha, T.J.F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.