



AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO MECÂNICA PARA DIFERENTES PROFUNDIDADES

**MATHEUS CAVALHEIRO MOREIRA DE CAMARGO¹; GABRIEL MARTINS
FORTES²; MAURICIO FORNALSKI SOARES²; BRUNA SAN MARTIM ROLIM
RIBEIRO²; LORENZO DALCIN MEUS²; LUÍS CARLOS TIMM³**

¹*Universidade Federal de Santa Maria– matheus.cmcamargo@gmail.com*

²*Universidade Federal de Santa Maria – gabrifortes@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas – mauriciofornalski@gmail.com*

²*Universidade Federal de Santa Maria – brunasanmartinrolim@gmail.com*

²*Universidade Federal de Santa Maria – lorenzo_meus@hotmail.com*

⁶*Universidade Federal de Pelotas – lctimm@ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

A resistência do solo à penetração mecânica (RP) é um indicativo de degradação do solo e é ocasionada pela supressão do volume de solo em uma condição não saturada quando executada uma pressão externa, originando a compactação do solo (SCHJØNNING et al, 2020). Consequentemente, a compactação leva a modificações na estrutura do solo, como obstrução do transporte hídrico, gasoso e nutricional, assim como a limitação da penetrabilidade das raízes.

O tráfego de máquinas e implementos agrícolas bem como o pisoteio de animais em áreas de integração lavoura/pecuária, repetidamente na mesma área, retificam o subsolo e a superfície de forma acumulável ao longo do tempo, tornando a recuperação destas áreas uma tarefa onerosa e complexa (VERONESI et al., 2012). Dependendo da relação carga/distribuição nas rodas dos veículos, a compactação de um solo pode chegar até 80 cm de profundidade, ressaltando-se que a compactação máxima situa-se na profundidade entre 30 e 55 cm (WARKOTSCH et al., 1994). Em sistema de integração lavoura-pecuária, o pisoteio animal tem sido apontado como uma das principais causas da degradação de áreas cultivadas afetando principalmente a camada superficial do solo, nos primeiros 15 cm de profundidade (REICHERT et al. 2009).

Ainda assim existem muitos procedimentos viáveis para avaliar e monitorar o aumento da RP e, de maneira preventiva ou até mesmo corretiva propor alternativas para a prevenção, redução, ou até mesmo a mitigação total da compactação do solo levando em conta aspectos ligados à conservação da estrutura do solo. A partir da amostragem e análise física do solo e auxílio de ferramentas estatísticas (VERONESI et al., 2012). é possível indicar um manejo do solo que promova o aumento da produtividade agrícola de forma sustentável (SCHJØNNING et al, 2020).

A avaliação da resistência à penetração pode ser determinada por equipamentos denominados de “penetrômetros”. Dentre os mais utilizados estão os penetrômetros dinâmicos (penetrômetro de impacto), que registram a RP por unidade de profundidade. Este aparelho permite a amostragem em diversos locais de forma precisa, levando ao levantamento de um banco de dados robusto (VERONESI et al., 2012). Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar e quantificar a resistência do solo à penetração mecânica em uma área agrícola de rotação de culturas para cinco camadas do solo dispostas de dez em dez centímetros com o uso de ferramentas estatísticas bem como identificar padrões de compactação do solo a partir deste mesmo banco de dados.

2. METODOLOGIA

O estudo foi conduzido em uma área agrícola da Agropecuária Parcianello SA, localizada no município de Alegrete-RS (Fig. 1). A área dispõem de dois equipamentos de irrigação (pivô central) e uma área de bordadura na porção nordeste do local. A área irrigada possui 130ha e a área de sequeiro mais 35 ha totalizando 165 ha. A classe de solos predominante na área é a dos argissolos, caracterizados pela presença de horizonte diagnóstico B textural, apresentando acúmulo de argila em profundidade devido à mobilização e perda de argila da parte mais superficial do solo.

Foi estabelecida uma malha amostral totalizando 55 pontos distribuídos de forma assimétrica na área de estudo, com uma média de 250m entre os pontos amostrados. Para avaliação da resistência do solo à penetração mecânica utilizou-se o penetrômetro digital Falker, modelo PenetroLogPLG 1020. Para cada ponto amostral foi determinada a RP na profundidade de 0-50 cm.

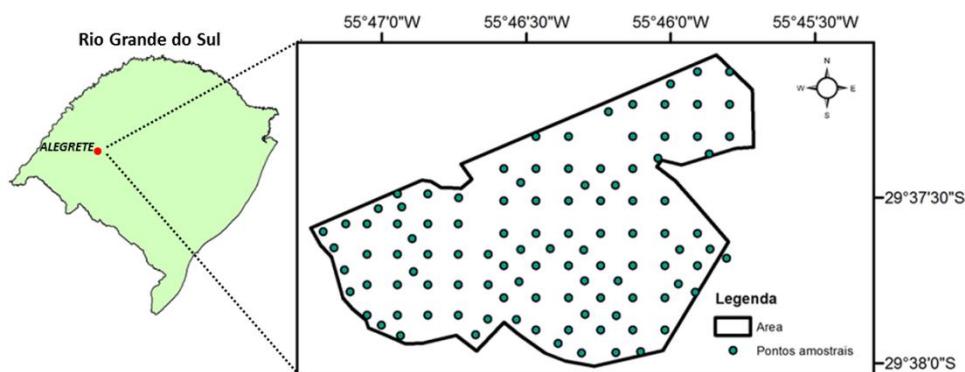


Figura1: Identificação da área de condução do estudo e pontos amostrais.

Para os cinco conjuntos de dados de RP referentes a cada camada do solo avaliada foram calculados parâmetros da estatística descritiva, no intuito de uma análise exploratória e avaliação do comportamento da distribuição de frequências. Foram calculadas as medidas de posição (média e mediana), de dispersão (variancia e coeficiente de variação) e as que indicam o formato da distribuição (coeficientes de assimetria e curtose). Também foi realizado um teste de aderência com o propósito de verificar a normalidade das séries de dados. O teste de Shapiro Wilk (S-W), a 5% de significância, foi empregado para analisar a tendência de normalidade de todos os conjuntos de dados. As médias de cada camada foram comparadas pelo teste de Kruskal Wallys a 5% de significância. Além disso, foram utilizados gráficos boxplots para comparação interquartílica dos conjuntos de dados entre os camadas de solo, com o intuito de fornecer uma representação gráfica do comportamento da RP em profundidade. O software R-Project (R CORE TEAM, 2021) foi utilizado em todas as análises estatísticas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados na tabela 1 mostram que, de acordo com a classificação de Wilding e Drees (1983), os coeficientes de variação (CV) da RP para as camadas 2; 3 e 5 podem ser classificados como moderado ($15\% < CV \leq 35\%$). Para as camadas 1 e 4 o CV da RP foi classificado como alto (acima de 35%). Exceto

para a camada 5, as demais camadas não seguem uma distribuição normal de acordo com o teste de Shapiro Wilk, justificando a opção por estatísticas não paramétricas para análise entre camadas.

Ainda de acordo com a tabela 1, é possível observar que apenas as camadas 3 e 4 não apresentaram diferença significativa entre si de acordo com o teste de Kruskal Wallis. Também, de acordo com as médias, é verificado um comportamento crescente da RP ao longo das camadas analisadas apresentando valores entre 1,45 a 3,10 Mpa, indicando a necessidade de monitoramento e o preparo em camadas sub superficiais. Estes resultados corroboram com os encontrados por Schjønning et al, (2020), Veronesi et al., (2012), e Reichert et al. (2009) que também constataram maiores valores de resistência à penetração com o aumento da profundidade.

Tabela 1 – Análise exploratória para as camadas de solo de 0 a 50 cm

Camada	ꝝ	Med.	S	CV%	Ass.	Kurt	S-W	Norm.
1	1,45 ^a	1,50	0,44	45	1,58	6,45	0,00	Não
2	2,13 ^{ab}	2,10	0,36	27	0,99	1,31	0,01	Não
3	2,52 ^b	2,30	0,75	34	1,37	1,60	0,00	Não
4	2,54 ^b	2,30	0,83	35	0,43	0,61	0,01	Não
5	3,10 ^c	3,20	1,13	34	-0,08	0,13	0,16	Sim

Parâmetros estatísticos: ꝝ: Média; Med.: Mediana; S: Variância; CV: Coeficiente de variação; SW: P-valor para teste Shapiro-Wilk; Norm: Normalidade. Camada1 (0-10cm); Camada2 (10-20cm); Camada3 (20-30cm); Camada4 (30-40cm); Camada5 (40-50cm); As médias seguidas de diferentes letras diferem no teste de Kruskal-Wallis ($\alpha=0,05$)

A Fig. 2 apresenta os boxplots da RP para cada camada do solo bem como a indicação do valor limitante para o crescimento radicular de 2 Mpa (TAYLOR et al. (1966). Apenas para as camadas 1 e 2 é possível observar que a maior parte dos dados estão abaixo do valor limitante e, para a camada 2, existem outliers bastante elevados. Para as camadas 3; 4 e 5, a maior parte dos dados se encontra acima do valor limitante. A disposição horizontal dos gráficos também denota a tendência de aumento da RP em profundidade, previamente demonstrada pelas médias dos valores.

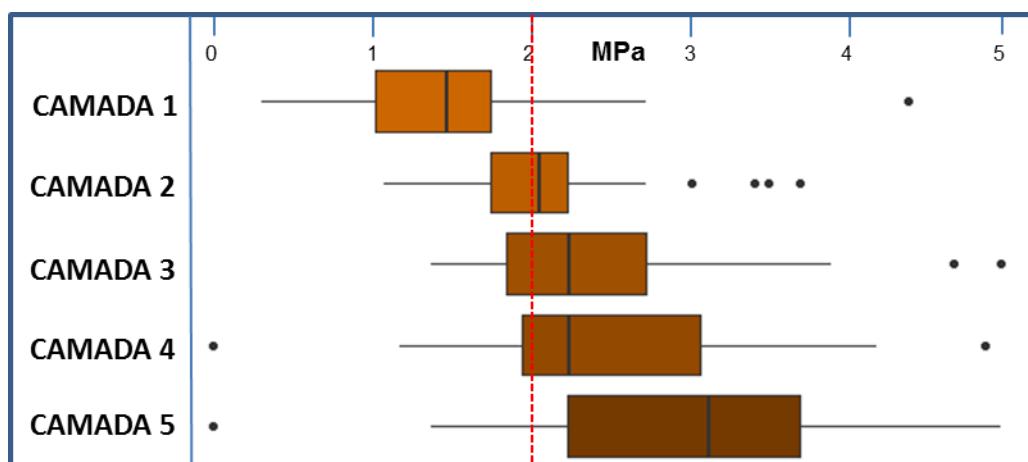


Figura 2: Boxplots representando à distribuição da resistência do solo à penetração mecânica em profundidade, para as cinco camadas avaliadas.



O solo sofre mudanças mensuráveis na estrutura após a passagem de um veículo se a carga, a depender da relação carga/distribuição nas rodas dos veículos, a compactação de um solo pode chegar até 80 cm de profundidade, ressaltando-se que a compactação máxima situa-se na profundidade entre 30 e 55 cm (WARKOTSCH et al., 1994). Os resultados demonstrados corroboram com essa afirmação, demonstrando um padrão crescente da RP até os 50 cm. O pisoteio animal interfere na compactação do solo principalmente na profundidade de 15 a 25 cm (REICHERT et al. 2009), demonstrando que o fenômeno da RP observado na área de estudo pode estar ligado tanto ao tráfego de máquinas quanto a um elevada densidade animal utilizada na entressafra em anos recentes no mesmo solo. Outro fator que corrobora com os resultados encontrados está ligado à classe de solos predominante na área. Os argissolos apresentam aumento gradual de argila em profundidade, sendo este um fator, que associado aos já citados, pode promover o aumento da RP em profundidade.

4. CONCLUSÕES

. A partir das métricas estatísticas utilizadas foi possível identificar um elevado grau de resistência do solo à penetração mecânica para as camadas a partir de vinte centímetros do solo. Também os gráficos boxplots demonstraram com clareza o aumento da resistência à penetração em profundidade, identificando um padrão de compactação do solo, uma vez que os valores estão acima do limite crítico.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil & Tillage Research*, v.102, p.242-254, 2009.

SCHJØNNING, Per; LAMANDÉ, Mathieu; KELLER, Thomas; LABOURIAU, Rodrigo. Subsoil shear strength – Measurements and prediction models based on readily available soil properties. *Soil And Tillage Research*, [S.L.], v. 200, p. 104638, jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2020.104638>.

TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER JÚNIOR, J.J. Soil strength-root penetration relations for medium- to coarse-textured soil materials. *Soil Science*, v.102, p.18-22, 1966.

VERONESI, Fabio; CORSTANJE, Ron; MAYR, Thomas. Mapping soil compaction in 3D with depth functions. *Soil and Tillage Research*, v. 124, p. 111-118, 2012.

WARKOTSCH, P.W.; van HUYSTEEN, L. OLSEN, G.J. Identification and quantification of soil compaction due to various harvesting methods - a case study. *South African Forestry Journal*, v.170, p.7 -15, 1994.