



COMPARAÇÃO ENTRE TRÊS PENETRÔMETROS NA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO SOLO À PENETRAÇÃO EM UM LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRRICO

M. M. Baesso^{1*}, T. A. V. Menezes², A. J. Modolo³, R. G. Rosa², L. F. S. Zuin¹

¹Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA-USP), Pirassununga-SP

²Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Piracicaba - SP

³Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR - Pato Branco - PR

Article history: Received 12 March 2020; Received in revised form 28 May 2020; Accepted 28 May 2020; Available online 30 June 2020.

RESUMO

A compactação do solo desencadeia problemas ambientais e agronômicos como erosão, lixiviação e baixa produtividade. O penetrômetro é o instrumento que mede a resistência da introdução de uma haste de ponta cônica no solo; teoricamente, solos mais compactados oferecem maior resistência. Há uma variedade de modelos de penetrômetro no mercado e literatura: bancada ou campo, manual ou automático, estático (penetrógrafo) ou dinâmico (de impacto), com ou sem registro eletrônico de dados etc. Naturalmente, surge a dúvida se é possível comparar dados de penetrômetros diferentes. Nesse trabalho, comparou-se três modelos de penetrômetros (de impacto, manual e automático). O experimento foi realizado em um latossolo vermelho eutroférico de textura argilosa no município de Pirassununga-SP. A resistência mecânica a penetração foi avaliada simultaneamente pelos três penetrômetros em um perfil de oito camadas com variações de 0,05 m entre 0 e 0,40 m. A resistência variou inversamente com a umidade do solo nos três, podendo concluir assim, que é seguro comparar valores de resistência de penetrômetros diferentes, desde que os dados tenham sido coletados sob as mesmas condições de umidade do solo.

Palavras-chave: compactação do solo, friabilidade, índice de cone.

COMPARISON BETWEEN THREE PENETROMETERS IN THE EVALUATION OF THE SOIL PENETRATION MECHANICAL RESISTANCE OF A RED EUTROFERRIC LATOSOL

ABSTRACT

Soil compaction triggers environmental and agronomic problems such as erosion, leaching and low productivity. The penetrometer is the instrument that measures the resistance of the introduction of a conical tipped rod into the ground; theoretically, more compacted soils offer greater resistance. There are a variety of penetrometer models in the market and literature: bench or field, manual or automatic, static (penetrograph) or

*baesso@usp.br

dynamic (impact), with or without electronic data record etc. Of course, the question arises whether it is possible to compare data from different penetrometers. In the present work, we compared the field sensors (manual dynamic, manual static and automatic static). The experiment was carried out in a red eutroferric latosol (USDA oxisol) of clay, sandy clay and sandy clay loam textures in Pirassununga-SP, Brazil. The mechanical strength was evaluated simultaneously by the three penetrometers in eight soil layers between 0 e 0,40 m. The resistance varied inversely with soil moisture in the three penetrometers, It was concluded that it is safe to compare resistance values from different penetrometers provided they have been collected under the same soil moisture condition.

Keywords: soil compaction, friability; cone index.

INTRODUÇÃO

Pesquisas evidenciam que o avanço da tecnologia tem proporcionado ao mercado máquinas e implementos agrícolas modernos e com ótimo potencial operacional, em grande parte devido à necessidade de se obterem níveis de produtividade elevados. No Brasil, por exemplo, o índice de produtividade agrícola brasileiro multiplicou-se 3,7 vezes de 1975 a 2010, correspondendo a um incremento de produtividade médio de 3,6% ao ano ao longo dos 35 anos do período (FORNAZIER & VIEIRA FILHO, 2013). Segundo os autores, o aumento da quantidade de produto não se deve ao aumento da quantidade insumos, senão por ganhos de eficiência na produção, dos quais faz parte o incremento na capacidade operacional do maquinário agrícola.

No entanto, existem também desvantagens na utilização de máquinas agrícolas, com destaque para as alterações físicas e biológicas do solo, como a redução do tamanho dos poros do solo e o aumento da resistência à penetração das raízes (TULLBERG et al., 2018). A essas alterações dá-se o nome de degradação do solo.

A preocupação com o futuro do solo do planeta intensificou-se rapidamente nos últimos anos, dado seu estado de degradação a nível global. Um relatório recente das Nações Unidas aponta que um terço de toda a terra

arável mundial sofre de algum tipo de degradação do solo, como erosão, salinização ou compactação do solo (FAO, 2015).

Segundo Szatanik-Kloc et al., 2018, ao discutirem sobre as modificações causadas pela degradação do solo, afirmam que a densidade de carga aplicada a ele influencia diretamente no surgimento de camadas compactadas, e estas afetam diretamente o desenvolvimento das raízes e a capacidade de troca catiônica.

A compactação do solo pode ser definida como uma alteração na sua estrutura física, ocorrida pela diminuição dos espaços internos dos poros, quando aplicada uma pressão externa proveniente do tráfego de máquinas agrícolas e equipamentos de transporte ou animais, tais ações resultam na expulsão do ar e da água que se encontram dentro desses poros, levando assim, a uma redução na disponibilidade desses elementos para as plantas, dificultando assim, o bom rendimento da cultura (SZYMCZAK et al., 2014).

No solo compactado a difusão do ar, infiltração e a drenagem da água ficam comprometidas, acarretando problemas como sufocamento radicular, escorrimento superficial e baixa absorção d'água, fator esse preocupante, uma vez que esse processo se manifesta geralmente de forma gradual e oculta no interior no subsolo. Quando os sintomas

gerados pela compactação aparecem ou se tornam visíveis, o seu custo de operacional de reversão ficam inviáveis economicamente desencadeando assim, transtornos ambientais e agrônômicos, como erosão, lixiviação e baixa produtividade.

Entretanto, esse processo de reversão ou descompactação das camadas de solo na produção agrícola pode ser uma alternativa para elevar o melhorar o nível de produtividade, sendo para isso, necessário o uso de equipamentos como o subsolador e o escarificador, porém essas ferramentas necessitam de um alto custo para implantação e demandam alto valor energético (OLIVEIRA FILHO et al., 2015). Por isso, a melhor forma de trabalhar com a compactação do solo é preveni-la, o que pode ser feita com um planejamento adequado de controle de tráfego, incorporação de matéria orgânica, adaptação do maquinário e adoção de sistemas de cultivo menos mecanizados, para tanto, uma recomendação é o mapeamento em profundidade e extensão que deve ser realizado regularmente.

A resistência do solo a penetração está ligada diretamente a compactação

do solo, podendo ser utilizada como um indicador, pois descreve a resistência física que o solo exerce sobre as raízes das plantas que tentam se mover através dele, sendo diretamente influenciado pela densidade e porosidade (MAZURANA et al., 2013).

O penetrômetro é o instrumento portátil que mede a resistência da introdução de uma haste de ponta cônica no solo. Há uma variedade de modelos de penetrômetro no mercado e literatura: bancada ou campo, manual ou automático, estático (penetrógrafo) ou dinâmico (de impacto), com ou sem registro eletrônico de dados, etc. O penetrômetro automático mantém constante a velocidade de penetração da sonda, o que não é tão fácil de alcançar manualmente. Contudo, o penetrômetro manual é o mais fácil de ser transportado, sendo o seu uso mais disseminado.

Naturalmente, surge a dúvida se é possível comparar dados de equipamentos diferentes. Por essas razões, o objetivo deste trabalho é comparar três penetrômetros (de impacto, manual e automático), além de investigar a influência da umidade nas leituras da resistência mecânica do solo à penetração.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA) da Universidade de São Paulo (USP), localizada no município paulista de Pirassununga-SP, em área cedida pela Prefeitura Administrativa do Campus da USP "Fernando Costa" (PUSP-FC).

A localização geográfica do campus é 21° 59' 45" sul, 47° 25' 33" oeste e altitude média de 627 metros. Segundo, o sistema de classificação climática Köpen, o clima local é do tipo tropical de altitude Cwa, com verão quente e chuvoso e inverno frio e seco. A temperatura média anual é de 20,8 °C, e

a precipitação média anual é de 1298 mm.

O solo estudado é classificado como latossolo vermelho eutroférico, ou seja, solo mineral antigo e bastante intemperizado, portanto, profundo, bem drenado e homogêneo (pouca diferenciação entre horizontes e cor com a profundidade), altamente fértil e rico em óxido férrico. O local encontra-se na periferia de uma área irrigada por pivô central, possui histórico de sucessão de soja, revolvimento mínimo do solo e semeadura sobre palha no plantio anterior, sendo que durante a coleta o

solo estava cultivado com soja em ponto de colheita.

Para a determinação da granulometria e intervalo friável do solo coletou-se uma amostra composta de cinco sub-amostras à profundidade de 0,20 m, em formato de “X” na área delimitada (uma sub-amostra em cada canto e a quinta no ponto central).

Primeiramente, delimitou-se a área quadrada de 5,0 m de lado, na qual não houve tráfego adicional de maquinário agrícola até o final do experimento. Na área delimitada foram realizadas todas as amostragens de solo e coleta de dados.

As amostras foram avaliadas no Laboratório de Física do Solo do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agrônomo (IA), em Campinas (SP). Para a determinação da granulometria, realizou-se o teste da pipeta e areia total. Para o intervalo friável, realizaram-se os testes de limite de liquidez pelo dispositivo de Casagrande e de limite de plasticidade pela NBR 7180.

Os resultados de granulometria, intervalo friável e classificação textural são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Granulometria, intervalo friável e classificação textural do local

Argila	Silte	Areia	LP	LL	Intervalo friável	Classificação textural
				kg	kg ⁻¹	
0,51	0,15	0,34	0,26	0,35	0,26-0,35	Argilosa

Legenda: LP – limite de plasticidade, LL – limite de liquidez.

Os dados do experimento foram coletados entre outubro de 2016 e março de 2017. Avaliou-se a variável-resposta contínua resistência mecânica do solo à penetração (RMSP), em três níveis de umidade do solo (S – seco, U – úmido e SA – saturado), com três penetrômetros (Figura 1): penetrômetro de impacto (PI) (dinâmico, acionamento manual, registro manual dos dados, dados analógicos e taxa de penetração constante); penetrômetro manual (PM)

(penetrômetro estático, acionamento manual, registro automático dos dados, dados digitais e taxa de penetração variável; e penetrômetro automático (PA) (penetrômetro estático, acionamento hidráulico, registro automático dos dados), com dados digitais e taxa de penetração constante, em oito camadas de 0,05 m entre 0,00 e 0,40 m (Z1 a Z8) e, 30 repetições por combinação de local, penetrômetro, umidade do solo e camada.

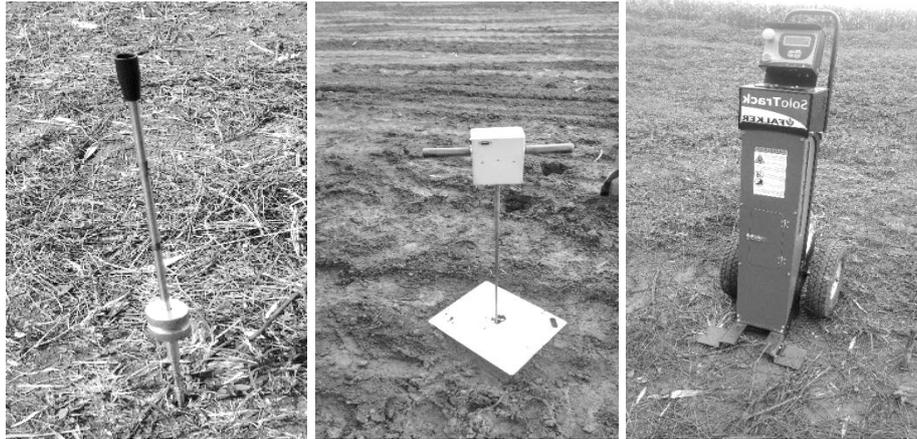


Figura 1. Fotografias digitais dos penetrômetros utilizados no experimento: penetrômetro de impacto (esquerda), penetrômetro manual (centro) e penetrômetro automático (direita).

Os níveis seco, úmido e saturado do fator umidade do solo (Tabela 2) foram definidos da seguinte forma: seco – abaixo de $0,199 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, úmido – entre $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e $0,299 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e

saturado – acima de $0,30 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Antes de cada coleta de dados, determinou-se a umidade do solo com um sensor capacitivo de umidade volumétrica.

Tabela 2. Valores de umidade volumétrica do solo para os níveis do solo seco, úmido e saturado

Umidade do solo		
S	U	SA
----- $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ -----		
0,186	0,223	0,340

Legenda: S – seco, U – úmido e SA – saturado.

A Tabela 3 resume o tipo de penetrômetro, tipo de acionamento, tipo de registro, natureza dos dados e taxa de

penetração dos penetrômetros usados no experimento.

Tabela 3. Marca e modelo, tipo de penetrômetro, tipo de acionamento, tipo de registro, natureza dos dados e taxa de penetração dos penetrômetros usados no experimento

Penetrô.	Tipo	Acionam.	Registro	Dados	Taxa de penetração	Área lateral do cone da ponteira
PI	Dinâmico	Manual	Manual	Analógico	Constante	$1,29 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
PM	Estático	Manual	Automático	Digital	Variável	$1,49 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
PA	Estático	Hidráulico	Automático.	Digital	Constante	$1,49 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Como definiram-se camadas de 0,05 m no estudo, configurou-se o penetrômetro PI para a resolução de uma leitura por camada de 0,05 m. A resolução nos penetrômetros PM e PA

foi de leitura a cada 0,01 m, sendo, portanto, processada posteriormente, para uma leitura por camada de 0,05 m (tirando-se a média de cada cinco leituras). No penetrômetro PI, primeiro

converteram-se os dados de número de impactos por camada de 0,05 m para resistência mecânica do solo à penetração em MPa. Para isso, utilizaram-se duas variações da fórmula de Stolf, calculada e do fabricante. Na primeira, os coeficientes da fórmula foram calculados a partir de medidas feitas em laboratório.

Após a coleta dos dados, o conjunto de dados foram processados da seguinte maneira: nos penetrômetros PM e PA, em que a resolução dos dados foi de uma leitura por 0,01 m e a profundidade máxima de leitura foi de 0,40 m, primeiro exclui-se a primeira das 41 leituras do conjunto de dados gerado

pelo equipamento, restando 40 leituras ou uma leitura por 0,01 m, após, tirou-se a média simples de cada cinco leituras, restando 8 leituras ou uma leitura por 0,05 m no conjunto de dados e por último, converteram-se todos os valores numéricos de kPa para MPa.

Esses ajustes foram necessários para compatibilizar o conjunto de dados desses penetrômetros com o conjunto de dados do penetrômetro PI. Na primeira, os coeficientes da fórmula foram calculados a partir de medidas feitas em laboratório. A Tabela 4 apresenta a descrição, unidade e valor obtido dos parâmetros da fórmula de Stolf, mensurados em laboratório.

Tabela 4. Descrição, unidade e valor mensurado dos parâmetros da fórmula de Stolf para o penetrômetro PI utilizado no experimento

Parâmetro	Descrição e unidade	Valor mensurado
M	Massa do êmbolo (kg)	1,48
M	Massa do penetrômetro sem o êmbolo (kg)	2,397
H	Altura de queda do êmbolo (m)	0,50
A	Área lateral da ponta cônica (m ²)	1,29 10 ⁻⁴
G	Aceleração da gravidade local (m s ⁻²)	9,7889

Substituindo os valores mensurados dos parâmetros da fórmula de Stolf para o penetrômetro PI da Tabela 4, obtém-se à equação (1), que

calcula a resistência mecânica do solo à penetração R_{lab} (MPa) em função do número de impactos para camada de 0,05 m N .

$$R_{lab} = 0,4287N + 0,2942 \quad (1)$$

onde:

R_{lab} = resistência mecânica do solo à penetração (MPa)

N = número de impactos por camada de 0,05 m

O conjunto de dados foi tratado para padronizar a resolução dos três instrumentos em uma leitura por camada de 0,05 m, totalizando oito camadas por ponto amostral. Foi descartado todo ponto amostral onde a variável-resposta

era maior ou igual a 6,50 MPa (ou 23 impactos), a fim de eliminar extremos e garantir a homocedasticidade do conjunto.

A análise estatística foi efetuada no software SAS® University Edition. Foi

utilizado um modelo linear generalizado com os fatores fixos penetrômetros (penetrômetro de impacto, penetrômetro eletrônico e penetrômetro automático), umidade do solo (seco, úmido e saturado), camada (oito camadas de 0,05 m até a profundidade de 0,40 m) e,

respectivas interações duplas e tripla entre os fatores. Os dados foram agrupados por local e submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve diferença significativa entre os três penetrômetros em todas as camadas, exceto a superficial nos solos seco e úmido e, entre 0,00 - 0,10 m no solo saturado. Entre os penetrômetros manual e automático não foram observadas diferenças nas camadas superficiais nos solos úmido e saturado. Os penetrômetros de impacto e automático não tiveram diferenças

também, na camada 0,05 - 0,10 m no solo de umidade saturado. Foi observado um caso com diferença significativa entre os três penetrômetros, também na camada superficial, em relação ao solo seco.

A Tabela 5 mostra os perfis de RMSF por penetrômetros e umidade do solo no local.

Tabela 5. Perfis de Resistência Mecânica do Solo a Penetração por penetrômetro no solo seco, úmido e saturado no local.

Camada M	Penetrômetro		
	PI	PM MPa	PA
Solo seco			
0,00-0,05	4,83 a	1,07 c	2,27 b
0,05-0,10	2,76 a	2,88 a	2,64 a
0,10-0,15	1,98 a	2,41 a	1,96 a
0,15-0,20	1,87 a	1,91 a	1,79 a
0,20-0,25	2,10 a	1,98 a	1,74 a
0,25-0,30	2,10 a	2,05 a	1,75 a
0,30-0,35	2,26 a	2,16 a	1,99 a
0,35-0,40	2,59 a	2,34 a	2,31 a
Solo úmido			
0,00-0,05	3,26 a	1,11 b	1,56 b
0,05-0,10	2,00 a	2,20 a	2,02 a
0,10-0,15	1,93 a	1,69 a	1,71 a
0,15-0,20	2,08 a	1,73 a	1,67 a
0,20-0,25	1,83 a	1,77 a	1,56 a
0,25-0,30	1,99 a	1,88 a	1,70 a
0,30-0,35	2,08 a	1,98 a	1,76 a
0,35-0,40	2,35 a	2,19 a	1,91 a
Solo saturado			
0,00-0,05	1,65 a	0,13 b	0,70 b
0,05-0,10	1,85 a	0,97 b	1,74 a

0,10-0,15	2,00 a	1,54 a	1,78 a
0,15-0,20	1,95 a	1,64 a	1,69 a
0,20-0,25	1,84 a	1,64 a	1,59 a
0,25-0,30	1,94 a	1,56 a	1,73 a
0,30-0,35	1,90 a	1,57 a	1,80 a
0,35-0,40	2,03 a	1,58 a	1,78 a

Não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% letras iguais minúsculas na mesma linha. Legenda: solo S – seco, U – úmido, SA – saturado; penetrômetros PI –de impacto, PM – manual, PA –automático.

Esses resultados podem ser explicados, principalmente pelo modo de operação dos penetrômetros. Beckett et al. (2018) tiveram resultados compatíveis ao deste estudo ao utilizarem os penetrômetros de impacto IAA/Planalsucar-Stolf, anel dinamométrico e estático eletrônico. Os autores encontraram correlações positivas fortes entre os três equipamentos, embora o penetrômetro de impacto tenha determinado valores superiores de resistência mecânica, e concluíram que os resultados obtidos com os penetrômetros estático e de anel dinamométrico foram semelhantes.

A diferença entre os valores de resistência mecânica obtidos por diferentes tipos de penetrômetros, em geral, estão relacionados ao modo de operação, tendo em vista que no penetrômetro de impacto a mesma é determinada através de uma série de cálculos e, nos penetrômetros eletrônicos a resistência mecânica é determinada diretamente pela pressão exercida contra o solo, com velocidade considerada constante.

Pela análise da Tabela 6, concluiu-se que não houve diferença significativa entre os três instrumentos em 20 das 24 observações totais, ou em 83% dos casos.

Tabela 6. Número de concordâncias entre penetrômetros e umidade do solo.

Umidade do solo		
S	U	SA
----- Observações que concordaram entre si -----		
7	7	6

S – seco, U – úmido, SA – saturado, PI – penetrômetros de impacto, PM – penetrômetros manual, PA – penetrômetros automático.

A concordância entre os penetrômetros de impacto e automático, embora sejam esses equipamentos com princípios de funcionamento distintos, sugerem que a taxa de penetração constante de ambos os torna mais compatíveis. O mesmo não pode ser dito do par de penetrômetros manual e automático, pois o primeiro não tem taxa de penetração constante. Nesse caso, a

compatibilidade pode ser atribuída ao mesmo tipo de ponteira e características gerais dos dois equipamentos, que são do mesmo fabricante. Essas razões, também podem explicar a menor concordância entre os penetrômetros de impacto e manual, que não têm em comum, nem o princípio de funcionamento, nem dimensões da ponteira e características gerais do equipamento. Também, não

houve umidade do solo em que o número de concordâncias ocorreu mais vezes.

Justino et al. (2017) ao estudarem a variabilidade espacial da resistência do solo à penetração, teor de água no solo e a produtividade na cultura do milho destacaram a necessidade de intensificar os estudos da variabilidade espacial dos atributos do solo para conhecer o seu comportamento no sistema solo-planta,

CONCLUSÃO

Sob a mesma condição de umidade do solo os três penetrômetros concordaram (não houve diferença estatística a 5%) em 20 das 24 observações, ou em 83% dos casos.

Também, não houve diferença significativa entre os três penetrômetros em todas as camadas, exceto a superficial nos solos seco e úmido e, entre 0,10 - 0,40 m no solo saturado.

REFERÊNCIAS

BECKETT, C. T. S.; BEWSHER, S.; GUZZOMI, A. L.; LEHANE, B. M.; FOURIE, A. B.; RIETHMULLER, G.; Evaluation of the dynamic cone penetrometer to detect compaction in ripped soils. **Soil and Tillage Research**, v.175, (1): p.150-157, 2018.

FAO. Status of the World's Soil Resources. **FAO**. [s.l.], 2015.

FORNAZIER, A.; VIEIRA FILHO, J. E. R.; Heterogeneidade estrutural na produção agropecuária: uma comparação da produtividade total dos fatores no Brasil e nos Estados Unidos. Rio de Janeiro: Brasília: **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, 46p., 2013.

JUSTINO, F.; ALBERTO, C.; OLIVEIRA, A. de; ALMEIDA, S.; LIMA, L. P. de; GUIMARÃES, E. C.; Variabilidade espacial da resistência do

uma vez que obtiveram grande diferença nos resultados obtidos.

Todavia, os resultados obtidos sugerem que, desde que as leituras de resistência do solo à penetração tenham sido obtidas a níveis de umidade do solo próximos, o tipo de penetrômetros utilizado para tal não importa, isto é, não interfere no resultado.

Entre os penetrômetros manual e automático, não houve diferença nas camadas superficiais nos solos úmido e saturado.

Assim, os resultados sugerem que penetrômetros diferentes são compatíveis entre si, desde que sejam utilizados sob as mesmas condições de umidade e, em locais com solos similares.

solo à penetração e produtividade do milho. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.4, (3): p.77-84, 2017.

MAZURANA, M.; FINK, J. R.; SILVEIRA, V. H. da; LEVIEN, R.; ZULPO, L.; BREZOLIN, D.; Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um argissolo vermelho sob tráfego controlado de máquinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, (5): p.1185-1195, 2013.

OLIVEIRA FILHO, F. X. de; MIRANDA, N.; MEDEIROS, J. F. de; SILVA, P. C. M. da; MESQUITA, F. O.; COSTA, T. K. G.; Zona de manejo para preparo do solo na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, (2): p.186-193, 2015.

SZATANIK-KLOC, A.; HORN, R.; LIPIEC, J.; SICZEK, A.; SZEREMENT, J.; Soil compaction-induced changes of physicochemical properties of cereal roots. **Soil and Tillage Research**, v.175, (1): p.226-233, 2018.

SZYMCZAK, D. A.; BRUN, E. J.; REINERT, D. J.; FRIGOTTO, T.; MAZZALIRA, C. C.; DAL'COL, L. A.; MARAFIGA, J.; Compactação do solo causada por tratores florestais na colheita de *Pinus taeda* L. na região sudoeste do Paraná. **Revista Árvore**, v.38, (4): p.641-648, 2014.

TULLBERG, J.; ANTILLE, D. L.; BLUETT, C.; EBERHARD, J.; SCHEER, C.; Controlled traffic farming effects on soil emissions of nitrous oxide and methane. **Soil and Tillage Research**, v.176, (1): p.18-25, 2018