

Ano 12, Vol XXIII, Número 2, Jul-Dez, 2019, p. 140-153.

RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO EM UM LATOSSOLO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE USO NO AGRESTE DA PARAÍBA

Lucas Rosa de Aquino Cunha
Josevaldo Ribeiro Silva
Flávio Pereira de Oliveira
Danillo Dutra Tavares
Pedro Luan Ferreira da Silva
Adriana Ferreira Martins

RESUMO: A condição física de um solo é essencial para um adequado desenvolvimento das culturas, sobretudo, quando se trata de agricultura tecnificada que exige maiores resultados, em função do maior investimento aplicado. Neste trabalho, objetivou-se avaliar a resistência à penetração e qualidade de atributos físicos de um solo sob diferentes condições de uso, na região do brejo Paraibano. O trabalho foi realizado na fazenda experimental do Centro de Ciência Agrárias da Universidade Federal da Paraíba. O perímetro das áreas escolhidas foi obtido através de levantamento com GPS portátil, sendo adotada para amostragem uma malha retangular no espaçamento 10 x 10 m, e os pontos localizados nos cruzamentos das malhas foram georreferenciados, seguindo com a coleta de amostras deformadas para determinações físicas nas camadas de 0-0,1 m e 0,1-0,2 m de profundidade. Também foram selecionadas três áreas com diferentes condições de uso: I. Área cultivada com Milho (AM); II. Área de mata nativa (MN) e III. Área de pastagem (AP). Cada área caracterizou-se em parcela de 50x50 m, totalizando 20 pontos coletados. As variáveis analisadas foram a resistência à penetração (RP) no campo e umidade gravimétrica do solo, além da realização da caracterização física do solo estudado. Os mapas de isolinhas foram feitos por método de krigagem. A condição AM apresentou baixo RP na camada superficial na ordem de 0,96 MPa, com elevação até os 0,2 m de profundidade em que mostrou 3,56 MPa, menores resistências nas camadas superiores é resultado do revolvimento do solo no preparo de solo para plantio. Em contraste, AP apresentou maiores RP já na camada de 0-0,1 m, 2,96 MPa, devido pisoteio animal. A área sob pastagem apresentou valores maiores de resistência à penetração, em superfície, diferente da área cultivada com milho e sob mata nativa. A condição com cultivo de milho, apresentou baixa resistência à penetração na camada 0-0,1 m e máxima em 0,1-

0,2 m, constatando-se efeito significativo do revolvimento do solo. Na condição sob mata nativa, ocorreu aumento da resistência à penetração com o aumento da profundidade, aferindo-se o comportamento de solos argilosos.

Palavras-chave: penetrômetro; compactação; krigagem.

PENETRATION RESISTANCE IN A LATOSOL UNDER DIFFERENT CONDITIONS OF USE IN AGRESTE PARAÍBA STATE

ABSTRACT: The physical condition of a soil is essential for an adequate development of crops, especially when it comes to technified agriculture that requires greater results, due to the greater investment applied. In this work, the objective was to evaluate the resistance to penetration and quality of physical attributes of a soil under different conditions of use, in the region of the Paraibano marsh. The work was carried out at the experimental farm of the Agricultural Science Center of the Federal University of Paraíba. The perimeter of the selected areas was obtained by means of a portable GPS survey. A rectangular mesh in the 10 x 10 m spacing was used for sampling, and the points located at the intersections of the meshes were georeferenced, followed by the collection of deformed samples for physical determinations in the layers of 0-0.1 m and 0.1-0.2 m depth. Three areas with different conditions of use were also selected: I. Area cultivated with corn (AM); II. Native forest area (MN) and III. Pasture area (AP). Each area was characterized in a 50x50 m plot, totaling 20 points collected. The variables analyzed were the penetration resistance (RP) in the field and soil gravimetric humidity, besides the physical characterization of the studied soil. Isoline maps were made by kriging method. The AM condition presented low RP in the superficial layer in the order of 0.96 MPa, with elevation up to 0.2 m depth in which it showed 3.56 MPa, lower resistance in the upper layers is a result of the soil rotation in soil preparation for planting. In contrast, AP presented higher RP already in the 0-0.1 m layer, 2.96 MPa, due to animal trampling. The area under pasture presented higher values of resistance to penetration, in surface, different from the area cultivated with maize and under native forest. The condition with maize cultivation presented low resistance to penetration in the 0-0.1 m layer and maximum in 0.1-0.2 m, with significant soil disturbance. In the condition under native forest, resistance to penetration increase occurred with the increase of the depth, being verified to the behavior of clay soils.

Keywords: penetrometer; soil compaction; kriging.

INTRODUÇÃO

As condições físicas em que o solo se encontra durante a fase de implantação e desenvolvimento de uma cultura influencia consideravelmente sua produtividade. Logo, o preparo do solo para o cultivo agrícola que é tradicionalmente realizado com arações e gradagens, pode ocasionar problemas de erosão, compactação e empobrecimento progressivo do solo, com conseqüente diminuição da produtividade das culturas, sendo imprescindíveis além das precauções com a fertilidade do solo, dedicar atenção às suas características físicas, tais como porosidade, agregação, resistência à penetração e densidade (BOTTEGA et. al., 2011; MAZURANA et. al., 2011).

A compactação do solo ocorre de maneira frequente em áreas que utilizam máquinas e implementos ou onde o pisoteio de animais é intenso, constituindo um dos mais sérios fatores de restrição ao desenvolvimento das plantas (CAMARGO; ALLEONI, 1997). Os níveis críticos de resistência para o crescimento radicular das plantas variam com o tipo de solo e com a espécie cultivada. Os atributos físicos diretamente alterados conforme a compactação do solo são a densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, retenção de água no solo, condutividade hidráulica e a resistência do solo à penetração (ARAÚJO et al., 2013). Essas variáveis, da mesma forma que são alterados, podem ser utilizados para avaliação do solo quanto ao manejo e formação de camadas compactadas, sendo eficiente para validar se técnicas de mitigação são eficientes ou não.

A resistência do solo à penetração é um atributo muito utilizado para estimar a compactação (ROQUE et al., 2008), bem como encontrar camadas do solo compactadas (COLET et al., 2009), por apresentar relações diretas com o desenvolvimento das plantas e por ser mais eficiente na identificação de estados de compactação comparada à densidade do solo. A resistência do solo à penetração está relacionada à textura, densidade do solo e teor de água no solo, ou seja, um parâmetro completo que pode indicar efeitos dos sistemas de manejo do solo sobre o solo e diretamente no crescimento das culturas (CORTEZ et al., 2018).

A determinação da resistência é feita com o uso de penetrômetro, se estabelecendo como uma forma fácil e ágil de mensurar e detectar camadas compactadas em várias

profundidades, possibilitando efetuar grande número de repetições, correlacionando com outras variáveis como o crescimento radicular. O funcionamento do penetrômetro se baseia em quantificar a resistência que o solo oferece à penetração de uma ponta cônica, relacionando a zonas em que as raízes encontrariam impedimento ao seu crescimento (MOLIN et al. 2012; SOUZA et al., 2014).

Neste trabalho, objetivou-se avaliar e comparar a resistência à penetração em um Latossolo sob três diferentes condições de uso no Agreste da Paraíba.

METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado em um Latossolo Amarelo pertencente a fazenda experimental do Centro de Ciência Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, no município de Areia, o qual está localizado na região leste do estado da Paraíba, na denominada Mesorregião do Agreste paraibano, microrregião do Brejo paraibano. Segundo a classificação de Köeppen, a região apresenta um clima do tipo AW'- quente e semi-úmido, altitude variando entre 400 e 600 m, com temperatura média anual de 26°C e precipitação média anual em torno de 1.350 mm (FUNCEME, 2018).

Na ordem de solo foram selecionadas três áreas com diferentes condições de uso: I - Área cultivada com milho (*Zea mays*) (AM); II - Área de Mata nativa (MN) e III - Área de pastagem com *Brachiaria decumbens* (AP).

Em cada área foi selecionada uma parcela de 50 x 50 m, tendo seu perímetro obtido através de levantamento com GPS portátil eTrex® 20x da Garmin. Para amostragem foi adotada malha retangular no espaçamento 10 x 10 m, totalizando dentro de cada parcela 20 pontos, os mesmos estavam localizados nos cruzamentos das malhas e foram georreferenciados, em seguida determinada a resistência à penetração (RP) até 60 cm com penetrômetro de impacto (modelo IAA/ Planalsucar-Stolf) (STOLF et al., 1983). A transformação dos valores da penetração da haste do aparelho no solo (cm impacto⁻¹) em resistência à penetração (MPa) foi obtida pela fórmula dos “holandeses”, segundo Stolf (1991). A resistência à penetração foi obtida da seguinte forma:

$$RP = \frac{Mg + mg + \left(\frac{M}{M+m} * \frac{Mg * h}{x} \right)}{A} \quad (1)$$

Em que, RP = resistência mecânica do solo à penetração; M = massa do êmbolo, 4,03 Kg; g = aceleração da gravidade; m = massa do aparelho excetuando o êmbolo,

3,24 kg; h = altura percorrida pelo êmbolo, 56 cm; x = penetração do cone no solo, cm/impacto; A = Área basal do cone (cm²).

Também, nos cruzamentos das malhas, foi realizada a coleta de amostras de solo deformadas e indeformadas para determinação de atributos físicos de solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade, as quais foram levadas ao Laboratório de Análise Física de Solo da Universidade Federal da Paraíba e determinou-se os seguintes atributos: umidade gravimétrica do solo, textura, densidade do solo e porosidade total, utilizando a metodologia descrita por Teixeira et al. (2017). Na Tabela 1, podem ser visualizadas as informações referentes a caracterização física do solo.

Tabela 1: Caracterização física de um Latossolo Amarelo submetido a diferentes condições de uso em Areia, PB.

| Sistema de Manejo | Textura (g kg ⁻¹) | | | Densidade do solo (kg dm ⁻³) | Porosidade total (m ³ m ⁻³) |
|-------------------|-------------------------------|-------|--------|--|--|
| | Areia | Silte | Argila | | |
| 0 – 0,10 m | | | | | |
| Cultivada | 537 | 40 | 423 | 1,34 | 0,49 |
| Mata Nativa | 557 | 33 | 410 | 1,38 | 0,45 |
| Pastagem | 569 | 51 | 380 | 1,39 | 0,47 |
| 0,10 – 0,20 m | | | | | |
| Cultivada | 501 | 35 | 464 | 1,41 | 0,46 |
| Mata Nativa | 542 | 52 | 406 | 1,43 | 0,42 |
| Pastagem | 533 | 64 | 403 | 1,39 | 0,47 |

Quanto ao coeficiente de variação (CV), a discussão foi embasada conforme classificação proposta por Warrick (1998) como baixo, quando menor do que 15%; médio para CV entre 15 e 50% e alto para CV acima de 50%. Assim como a RP foi classificada conforme Ribeiro (2010) como baixo entre 0 a 2 MPa, moderado de 2 a 4 MPa, alto de 4 a 6 MPa e muito alto acima de 6 MPa.

Foi utilizado delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC) e os dados de resistência à penetração foram submetidos a análise de variância e teste de comparação de médias Tukey (p<0,05), utilizando o software SISVAR. A interpolação dos dados foi processada pelo método da krigagem, possibilitando a produção dos mapas de isolinhas pelo software Surfer 14.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conteúdo de água observado para nas diferentes camadas avaliadas do Latossolo (Tabela 2) não apresentaram grande diferença, portanto, avaliações da RP tenderam a variar por efeito de outras variáveis e não exclusivamente pela umidade encontrada no solo. Ainda de acordo com o observado para a umidade gravimétrica, houve incremento em profundidade, indicando que a percolação da água está seguindo fluxo normal sem impedimentos e prováveis camadas compactadas.

Resultados similares foram observados por Cortez et al. (2018), avaliando perfil de 0-04 m de profundidade em um Latossolo vermelho sob cultivo, os autores constataram aumento do conteúdo de água em profundidade, assim como Oliveira Filho et al. (2016), não observaram diferenças significativas da umidade em profundidade referente a 0-0,4 m, trabalhando com um Latossolo amarelo, comprovando que variações na RP visualizadas em campo nem sempre são oriundas de diferenças no conteúdo de água, mas devidas as outras variáveis.

Tabela 2: Valores de umidade gravimétrica encontrada no perfil de um Latossolo amarelo sob áreas de pastagem, cultivada e mata nativa em Areia, PB.

| Sistema de Manejo | Umidade gravimétrica (kg kg ⁻¹) | | | | | |
|-------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 0,0-0,1 m | 0,1-0,2 | 0,2-0,3 | 0,3-0,4 | 0,4-0,5 | 0,5-0,6 |
| Cultivada | 0,12 | 0,12 | 0,16 | 0,18 | 0,20 | 0,20 |
| Mata Nativa | 0,09 | 0,15 | 0,18 | 0,19 | 0,18 | 0,18 |
| Pastagem | 0,14 | 0,15 | 0,16 | 0,17 | 0,18 | 0,18 |

A análise dos dados de resistência à penetração (Tabela 3), indicaram que houve diferença significativa entre as condições de uso nas diferentes profundidades.

Os dados indicam que na profundidade de 0-0,1 m a condição sob pastagem apresentou maior RP, nas condições de MN e AM não foram verificadas diferenças significativas. Na camada de 0,1-0,2 m, AM e AP apresentaram valores estatisticamente iguais, superiores a RP observada em MN. Na camada de 0,2-0,3 m, AM obteve o maior valor de RP seguida, com o menor valor, de MN, com AP não apresentando estatisticamente diferença significativa as demais condições.

Na camada de 0,3-0,5 m, as condições avaliadas não apresentaram diferença significativa. Na profundidade de 0,5-0,6 m, AM apresentou o maior valor de RP seguida de AP, a qual apresentou menor resistência, além de MN não apresentar diferenças estatísticas às outras condições.

Tabela 3: Resistência do solo à penetração em Mpa de um Latossolo Amarelo submetido a diferentes condições de uso em Areia-PB.

| Sistema de Manejo | Resistência à Penetração (MPa) | | | | | |
|-------------------|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 0,0-0,1 m | 0,1-0,2 | 0,2-0,3 | 0,3-0,4 | 0,4-0,5 | 0,5-0,6 |
| Cultivada | 0,93 B | 3,56 A | 2,99 A | 2,80 A | 2,77 AB | 3,27 A |
| Mata Nativa | 2,96 A | 3,03 A | 2,35 AB | 2,16 A | 2,06 A | 1,90 B |
| Pastagem | 0,56 B | 1,13 B | 2,05 B | 2,40 A | 2,83 A | 2,96 AB |
| CV (%) | 25,80 | 32,96 | 20,53 | 18,08 | 22,54 | 23,28 |

Na camada superficial correspondente a 0-0,1 m, observa-se que devido ao pastoreio animal por mais de dez ano, AP apresentou RP moderada (2-4 MPa), em outrossim AM, sob cultivo de milho, por ter sido recentemente revolvido por meio de gradagem no preparo do solo para plantio, expôs resistência baixa (<2 MPa) a qual não diferenciou de MN, dados corroboram com observações de Ralisch et al. (2008), Blainski et al. (2008), Carbone e Carneiro et al. (2009) e Magalhães et al. (2009), trabalhando com resistência do solo à penetração em áreas cultivadas e sob pastejo.

Observou-se RP moderada (2 a 4 MPa) para AM e AP nas camadas correspondentes a 0,1 a 0,5 m, não sendo visualizadas diferenças significativas entre estas duas condições nas diferentes camadas estudadas. Ainda na camada 0,1-0,2 m, foram observados os valores máximos de RP para AM e AP, com posterior diminuição na camada correspondente a 0,2-0,5 m, dado pode ser justificado pela zona de influência da pressão exercida na superfície, a qual é mais significativa dos 0,2 aos 0,4 m de profundidade do solo, diminuindo em camadas mais profundas.

Dados de RP corroboram com Cortez et al. (2018), em avaliação da dependência espacial da resistência à penetração em Latossolo vermelho, observaram que valores

máximos de RP se apresentam com maior frequência nas camadas 0,1-0,3 m, o mesmo foi observado por Campos et al. (2013), avaliando resistência à penetração em solo cultivado com cana-de-açúcar e Marasca et al. (2011), averiguando o mesmo atributo sob cultivo de soja.

A condição MN apresentou incremento na RP em profundidade, chegando ao seu valor máximo na camada 0,5-0,6 m, esse dado pode ser explicado pela redução do conteúdo de matéria orgânica em profundidade, diminuindo o condicionamento físico do perfil do solo. Em outrossim, Oliveira Filho et al. (2016) e Silva et al. (2000) afirmam que aumento da resistência à penetração em profundidade é característico de solo que possuem elevados teores de argila, fato que está relacionado a ausência de revolvimento do solo e também pela acomodação natural das partículas, portanto, tomando a condição sob mata como referência para a avaliação das demais, era esperado o resultado obtido.

A forma como RP se apresentou nos perfis das diferentes condições de uso corrobora com a assertiva que o manejo favorece modificações de ordem física, modificando variáveis relacionadas a drenagem e organização de partículas, exercendo influência na resistência à penetração de todo o perfil, como pode ser observado comparando MN com as demais condições.

Quanto ao coeficiente de variação, foram observados CV médios para as profundidades avaliadas, o que está de acordo ao visualizado por Cortez et al. (2018), Ralisch et al. (2008) e Oliveira Filho et al. (2016), estando, portanto, de acordo com o que é observado na literatura especializada.

Na Figura 1 está apresentada os mapas de isolinhas da resistência à penetração do solo para as camadas de 0- 10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50 e 50-60 cm para as áreas de pastagem e cultivada, assim como a escala de cores representando a intensidade da RP. Esse dado se estabelece com uma importante ferramenta para conhecimento da variável RP *in loco*, possibilitando planejamento de manejo direcionados, diminuindo custos e elevando a precisão da agricultura, corroborando com estudos realizados por Campos et al., (2014) em estudos em área de agrofloresta.

A figura mostra espacialmente como se comporta a RP na parcela estudada e em profundidade, sendo possível observar que na área cultivada com milho, a camada 0-0,1 m apresentou significativa menor resistência em relação as demais camadas avaliadas,

constatando valor máximo em 0,1-0,2 m, devido a um ponto de amostragem específico, a qual está perturbando a distribuição dos resultados ao redor da média, podendo ser alvo específico de manejo. Em contraste a diminuição de RP observada no decorrer do perfil, na camada de 0,5-0,6 m, apresenta uma elevação de resistência em 3,27 MPa, a qual pode estar relacionada às características intrínsecas do solo, não conotando mais influência da pressão exercida pela passagem de máquinas do preparo do solo.

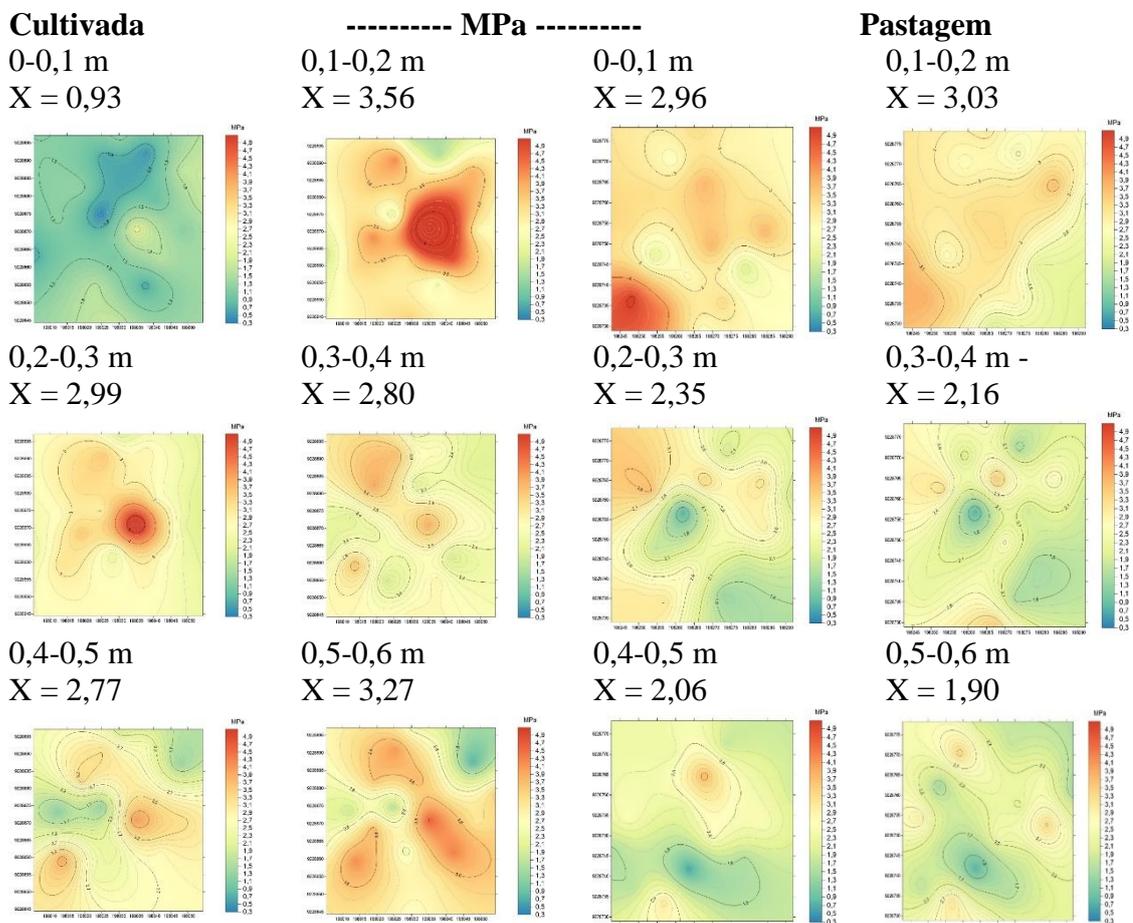


Figura 1: Espacialização dos valores críticos da resistência do solo à penetração (RP) em MPa em um Latossolo amarelo sob três diferentes condições de uso em Areia-PB.

Em avaliação de AM para o cultivo do milho, tomando-se observações de Tolon-Becerra et al. (2011), os quais avaliando efeitos da compactação do solo na cultura do milho, constataram que RP superiores a 1,5 MPa começam a influenciar significativamente no desenvolvimento da cultura, porém em avaliação mais recente, Afzalnia e Zabihi (2014), avaliando o crescimento de milho em plantio direto sob

variação da compactação do solo, afirmaram que o valor crítico de RP é 2 MPa, ou seja, valores acima desse patamar seriam limitantes a cultura do milho.

Pode-se constatar com base na avaliação da espacialização de RP na parcela estudada, que o solo apresenta limitações moderadas ao estabelecimento e alongamento radicular no perfil para a cultura do milho.

Em AP, diferente do observado em AM, a camada 0-0,1 m apresenta RP na ordem de 2,96 MPa, se elevando até os 0,2 m, conseqüente da pressão de pisoteio decorrente do pastoreio da área. Visualiza-se diminuição de RP nas camadas subsequentes do perfil, expondo menor valor em 0,5-0,6 m. a condição observada nos perfis da área AP pode ser decorrência da deposição de raízes finas oriundas da *Brachiaria decumbens* cultivada como forragem na área, a qual é utilizada a mais de dez anos promovendo incrementos anuais de matéria orgânica ao longo do perfil do solo.

CONCLUSÃO

A área sob pastagem apresentou valores maiores de resistência à penetração, em superfície, diferente da área cultivada com milho e sob mata nativa.

A condição com cultivo de milho, apresentou baixa resistência à penetração na camada 0-0,1 m e máxima em 0,1-0,2 m, constatando-se efeito significativo do revolvimento do solo.

Na condição sob mata nativa, ocorreu aumento da resistência à penetração com o aumento da profundidade, aferindo-se ao comportamento de solos argilosos.

REFERÊNCIAS

AFZALINIA, S.; ABIHI, J. Soil compaction variation during corn growing season under conservation tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 137, n. 1, p. 1-6, 2014.

BLAINSKI, É.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 975-983, 2008.

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

CAMARGO, O. A; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Degaspari, 1997. 132 p.

CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, E. A.; OLIVEIRA, I. A.; BERGAMIN, A. C. Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração e umidade do solo em área cultivada com cana-de-açúcar na região de Humaitá, Amazonas, Brasil. **Agrária**, v. 8, n. 2, p. 305-310, 2013.

CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; AQUINO, R. E.; SANTOS, L. A. C.; MANTOVANELLI, B. C. Distribuição espacial da resistência do solo à penetração e teor de água do solo em uma área de agrofloresta na região de Humaitá, AM. **Comunicata Scientiae**, v. 5, p. 509-517, 2014.

CARBONE, C. M. A.; SOUZA, D. E.; REIS, E. F.; SERON, P. H.; AZEVEDO, W. R. D. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

COLET, M. J.; SVERZUT, C. B.; WEIRICH NETO, P. H.; SOUZA, Z. M. Alterações em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação. **Ciência & Agrotecnologia**, v. 33, n. 2, p. 361-368, 2009.

CORTEZ, J. W.; MATOS, W. P.; ARCOVERDE, A. N. S.; CAVASSINI, V. H.; VALENTE, I. Q. M. Spatial variability of soil resistance to penetration in no tillage system. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 5, p. 697-704, 2018.

SOUZA, E. B.; PATROCINIO FILHO, A. P.; PIMENTA, W. A.; JESUS NAGAHAMA, H.; CORTEZ, J. W. Resistência mecânica do solo à penetração em função da sua umidade e do tipo de penetrômetro. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 1, p. 67-76, 2014.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. FUCEME. **Dados pluviométricos de Areia- PB**. 2018. Disponível em:<<http://www.funceme.br>>. Acesso em: 28 fev. 2018.

MAGALHÃES, W.; CREMON, C.; MAPELI, N. C.; SILVA, W. M.; CARVALHO, J. M.; MOTA, M. S. Determinação da resistência do solo a penetração sob temas de cultivo em um Latossolo sob Bioma Pantanal. **Agrarian**, v. 2, n. 6, p. 21-32, 2009.

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

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MULLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: Alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1197-1206, 2011.

MOLIN, J. P.; DIAS, C. T. S.; CARBONERA, L. Estudos com penetrometria: Novos equipamentos e amostragem correta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 584-590, 2011.

OLIVEIRA FILHO, F. X.; MIRANDA, N. O.; MEDEIROS, J. F.; SILVA, P. C. M.; MESQUITA, F. O. COSTA, T. K. G. Compactação de solo cultivado com cana-de-açúcar em Baía Formosa, Rio Grande do Norte. **Revista Ceres**, v. 63, n. 5, p.715-723, 2016.

RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. D. C.; GUIMARÃES, M. D. F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 381-384, 2008.

RIBEIRO, C. A. **Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração em áreas mecanizadas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*)**. Jaboticabal- SP: Universidade Estadual Paulista, 2010. 85p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Estadual Paulista, 2010.

ROQUE, M. W.; MATSURA, E. E.; SOUZA, Z. M.; BIZARI, D. R.; SOUZA, A. L. Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1827-1835, 2008.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Ciência Rural**, v. 30, n. 5, p.795-801, 2000.

SOUZA, E. B.; PATROCÍNIO FILHO, A. P.; PIMENTA, W. A.; NAGAHAMA, H. J.; CORTEZ, J. W. Resistência mecânica do solo à penetração em função da sua umidade e do tipo de penetrômetro. **Engenharia na agricultura**,v. 22, n. 1, p. 67-76, 2014.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação de dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 15, n. 1, p. 229-235, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. **Recomendações para o uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar-Stolf**. São Paulo: MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar, 1983. 8p. (Boletim, 1).

TARDIEU, F. Growth and functioning of roots and to root systems subjected to soil compaction: towards a system with multiple signaling. **Soil and Tillage Research**, v. 30, n. 1, p. 217- 243, 1994.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2017. 573 p.

TOLON-BECERRA, A.; TOURN, M.; BOTTA, G. F.; LASTRA-BRAVO, X. Effects of different tillage regimes on soil compaction, maize (*Zea mays* L.) seedling emergence and yields in the eastern Argentinean Pampas region. **Soil and Tillage Research**, v. 117, n. 1, p. 184-190, 2011.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. cap. 2, p. 319-344.

Recebido: 30/9/2019.

Aceite: 13/11/2019.

Sobre os autores:

Lucas Rosa de Aquino Cunha–Engenheiro Agrônomo, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Rural, Areia, PB, Brasil

Contato: lucascunhapb@gmail.com

Josevaldo Ribeiro Silva–Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Recife, PE, Brasil.

Contato: valdorb@hotmail.com

Flávio Pereira de Oliveira–Engenheiro Agrônomo, Dr. em Ciência do Solo, professor Associado, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Rural, Areia, PB, Brasil.

Contato: pereira@cca.ufpb.br

Danillo Dutra Tavares–Engenheiro Agrônomo, Doutorando em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Agronomia, Recife, PE, Brasil.

Contato: danielodutrat@hotmail.com

Pedro Luan Ferreira da Silva–Graduando em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Rural, Areia, PB, Brasil.

Contato: pedroluanferreira@gmail.com

Adriana Ferreira Martins–Bióloga, Dra. em Ciência do Solo, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Rural, Areia, PB, Brasil.

Contato: biol.adriana@gmail.com