



## Avaliação de penetrômetros na medição da resistência do solo à penetração

**Luís Felipe Rodrigues de Aquino Sousa<sup>(1)</sup>; Ademir Silva Menezes<sup>(2)</sup>; Juarez Cassiano de Lima Júnior<sup>(2)</sup>; Márcio Godofredo Rocha Lobato<sup>(3)</sup>; Arilene Franklin Chaves<sup>(3)</sup>; Thiago Leite de Alencar<sup>(3)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará (UFC); Fortaleza, Ceará; luis.felipe@msn.com; <sup>(2)</sup> Mestrandos do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFC; <sup>(3)</sup> Doutorandos do Programa em Ciência do Solo da UFC.

**RESUMO:** A resistência do solo à penetração é importante atributo do solo a ser analisado quando da avaliação de sua qualidade física. Considerando a possibilidade do uso de distintos modelos de penetrômetros, objetivou-se neste trabalho avaliar três equipamentos para a medição da resistência do solo à penetração. O trabalho foi realizado em uma área experimental localizada no Campus do Pici, da Universidade Federal do Ceará, em solo classificado como Argissolo Amarelo distrófico. Foram avaliados os penetrômetros estático de bancada, de esforço manual e de impacto. Concluiu-se que a resistência do solo à penetração pode ser mensurada por quaisquer dos instrumentos, visto que, em geral, não foram detectadas diferenças estatísticas significativas dentro de cada camada avaliada.

**Termos de indexação:** compactação, densidade do solo, umidade.

### INTRODUÇÃO

O uso de máquinas e de implementos agrícolas, associado ao intenso cultivo, provoca mudanças nos atributos físicos do solo, dentre os quais o aumento da densidade – no processo denominado de compactação. Um dos principais indicadores da compactação é a resistência mecânica que o solo apresenta à penetração (RP). Vale ressaltar que aumentos da RP influenciam o crescimento das raízes das plantas, limitando o desenvolvimento vegetativo e comprometendo o seu rendimento (Ralisch et al., 2008; Moura et al., 2012).

A determinação da RP em campo tem sido efetuada, normalmente, com penetrômetros, que são instrumentos de fácil manuseio e que não requerem muito tempo para a tomada das medições (Andrade et al., 2007; Dexter et al., 2007).

A avaliação da resistência mecânica do solo é feita principalmente por meio de penetrômetros de impacto (Stolf, 1991), por penetrômetros de esforço manual (Camargo & Alleoni, 2006), e por penetrômetro estático de bancada, este bastante usado no estudo da resistência mecânica do solo à penetração em amostras de solo com estrutura preservada (Serafim et al., 2008).

O penetrômetro de impacto é largamente utilizado no campo; É um instrumento de fácil manuseio e, sobretudo, de baixo custo (Lima et al., 2013). A haste penetra do solo de acordo com os impactos de peso caindo livremente de uma altura conhecida (Stolf, 1991). Já o penetrômetro estático de bancada tem uso amplo em laboratório, principalmente quando da determinação do intervalo hídrico ótimo a partir de amostras de solo com estrutura preservada (Tormena et al., 1998). Outro modelo, de esforço manual, no qual o operador aplica uma força constante, permite que o penetrômetro registre o perfil da resistência mecânica à penetração em toda a extensão da profundidade desejada. Claro que há os erros decorrentes do operador (Moraes et al., 2014)

Este trabalho foi realizado com o objetivo de mensurar a resistência do solo à penetração a partir de modelos de penetrômetro em um solo cultivado com pastagem, em Fortaleza-CE.

### MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em área experimental localizada na Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, em Fortaleza-CE (3°44'41,12" S e 38°34'52,37" W). O solo, sob pastagem, é classificado como ARGISSOLO AMARELO Distrófico (Embrapa, 2013), com textura arenosa desde 0-15 cm e franco-arenosa dos 15-30 cm.

As análises foram realizadas em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3 x 14: três modelos de penetrômetros para a determinação da resistência mecânica do solo à penetração (penetrômetro estático de bancada, modelo MA-933 da Marconi, penetrômetro de esforço manual, modelo SC-60 da Soilcontrol, e penetrômetro de impacto, modelo SondaTerra IP-60, construído para funcionar segundo Stolf (1991)) e quatorze camadas de dois centímetros até a profundidade de 28 cm, em cinco repetições. Para as análises da densidade do solo e umidade, adotou-se delineamento inteiramente casualizado com os tratamentos sendo as 14 camadas de dois centímetros.

Para a obtenção das medidas da resistência à penetração pelo penetrômetro estático de bancada,



foram coletadas amostras de solo com estrutura preservada em cilindros com altura e diâmetro de cinco centímetros (volume nominal de 100 cm<sup>3</sup>), a partir da superfície e até 28 cm de profundidade.

Em cada cilindro foram desconsiderados o primeiro (exceto para o coletado na superfície do solo) e último centímetro, daí porque foi necessária a coleta de dez cilindros em cada um dos pontos amostrais (ou cada repetição) para, então, se obter o perfil da resistência à penetração desde a superfície do solo até os 28 cm de profundidade. Também foram determinadas para cada amostra a densidade do solo e a umidade.

Os dados obtidos a partir dos modelos de penetrômetro foram convertidos para MPa (para a resistência à penetração, foram transformados em raiz de X) e analisados quanto à variância pelo teste F. Para a comparação de médias utilizou-se o teste de Tukey a 5% de significância.

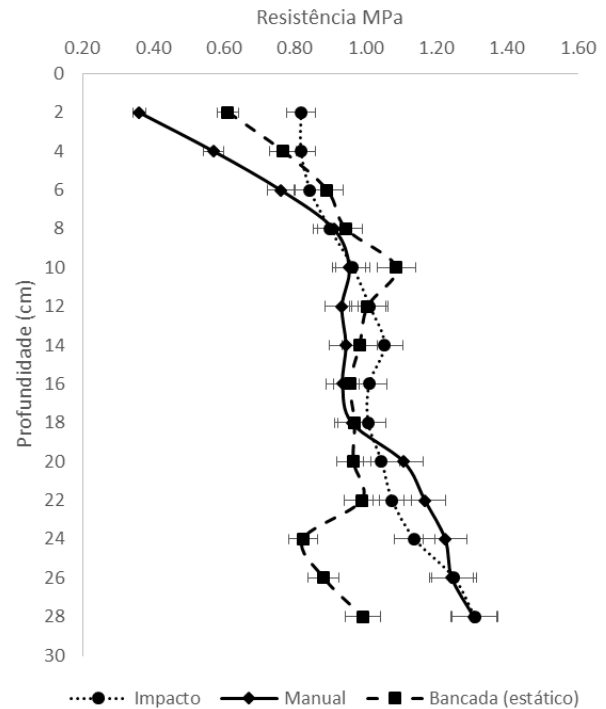
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral, a resistência mecânica do solo à penetração obtida pelos modelos de penetrômetro não diferiu estatisticamente dentro de cada camada considerada. Em média, houve aumento significativo da densidade em profundidade (Tabela 1), cujos valores foram influenciados pelo penetrômetro manual (Figura 1).

**Tabela 1** – Resistência mecânica do solo à penetração obtida por modelos de penetrômetro.

Prof. cm	Impacto	Manual	Bancada	Média
	MPa			
0-2	0,818 aA	0,361 bD	0,611 abA	0,596 D
2-4	0,818 aA	0,571 aCD	0,767 aA	0,718 CD
4-6	0,843 aA	0,761 aBCD	0,892 aA	0,832 BCD
6-8	0,899 aA	0,910 aABC	0,945 aA	0,918 ABC
8-10	0,965 aA	0,954 aABC	1,088 aA	1,002 ABC
10-12	1,012 aA	0,934 aABC	1,007 aA	0,984 ABC
12-14	1,054 aA	0,945 aABC	0,984 aA	0,994 ABC
14-16	1,011 aA	0,936 aABC	0,957 aA	0,968 ABC
16-18	1,008 aA	0,962 aABC	0,970 aA	0,980 ABC
18-20	1,046 aA	1,108 aAB	0,966 aA	1,040 AB
20-22	1,076 aA	1,168 aAB	0,990 aA	1,078 AB
22-24	1,139 abA	1,226 aAB	0,824 bA	1,063 AB
24-26	1,251 aA	1,245 aAB	0,882 aA	1,126 AB
26-28	1,309 aA	1,306 aA	0,993 aA	1,203 A
Média	1,018 a	0,956 a	0,920 a	CV (%) = 26
DMS Médias	Métodos = 0,09978		Profundidades = 0,30962	
DMS	Linhas = 0,3734		Colunas = 0,5363	

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.



**Figura 1** – Resistência mecânica do solo à penetração obtida por modelos de penetrômetro.

Esse aumento médio da resistência do solo pode ser explicado pela mudança textural do solo, uma vez que na camada superficial apresenta textura arenosa e na subsuperfície franco-arenosa.

Portanto, evidenciou-se que aumento do teor de argila influenciou significativamente para o aumento da resistência. Resultados semelhantes foram encontrados por Assis et al. (2009). Outro fator que contribuiu para esse comportamento foi o ligeiro aumento da densidade do solo em profundidade (Tabela 2). Mesmo comportamento foi evidenciado por Ribon & Tavares Filho (2008), com a densidade do solo sendo o fator que mais contribuiu para o aumento da resistência.

A diminuição da umidade do solo em profundidade ocorreu significativamente nas diferentes profundidades, com a superfície mais úmida, seguida um decréscimo até os 20 cm. A partir dos 20 cm o conteúdo de água no solo se elevou, influenciando expressivamente na resistência do solo à penetração. O aumento da resistência mecânica do solo à penetração está também associado ao manejo e preparação do solo. Solos intensamente revolvidos, e uso de aração e gradagem provocam alterações nos atributos físicos (Ramos et al., 2013).

Os diferentes modelos de penetrômetro se mostraram eficientes para a avaliação da resistência do solo à penetração. Com relação às correlações, o penetrômetro de impacto apresentou



um alto coeficiente de correlação, positivo, com o penetrômetro do esforço manual (Tabela 3).

Tabela 2 – Densidade e umidade do solo ao longo do perfil do solo.

Profundidade cm	Densidade do solo g.cm <sup>-3</sup>	Umidade cm <sup>3</sup> .cm <sup>-3</sup>
0-2	1,65 ab	0,219 ab
2-4	1,74 a	0,216 bc
4-6	1,67 ab	0,238 a
6-8	1,67 ab	0,220 ab
8-10	1,71 ab	0,190 ab
10-12	1,66 ab	0,208 bcde
12-14	1,65 ab	0,200 bcdef
14-16	1,66 ab	0,201 bcdef
16-18	1,66 ab	0,206 bcdef
18-20	1,63 ab	0,187 f
20-22	1,71 ab	0,194 def
22-24	1,60 b	0,198 cdef
24-26	1,68 ab	0,209 bcde
26-28	1,74 a	0,214 bcd
CV %	3,51	4,47
DMS	0,1302	0,0205

As médias seguidas pela mesma letra minúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 1% de significância.

Tabela 3 – Correlação entre os modelos de penetrômetro.

	Impacto	Manual	Bancada (estático)
Impacto	1		
Manual	0.79**	1	
Bancada (estático)	0.45**	0.56**	1

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0.01$ ).

Embora os métodos apresentem princípios de funcionamento diferentes, os mesmos são utilizados para o mesmo fim, embora se deva destacar que a experiência do operador é de extrema importância para a redução dos erros na avaliação da resistência do solo à penetração, principalmente quando o modelo de penetrômetro usado é o de esforço manual (Beutler et al., 2007).

## CONCLUSÃO

A resistência do solo à penetração pode ser mensurada por quaisquer dos instrumentos, visto que, em geral, não foram detectadas diferenças estatísticas significativas dentro de cada camada avaliada.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. & GODOY, S. G. Estimativa da resistência do solo à penetração baseada no índice S e no estresse efetivo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 17:932-937, 2013.

ASSIS, R. L.; LAZARINI, G.D.; LANCAS, K.P. & CARGNELUTTI FILHO, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. Engenharia Agrícola, 29:558-568, 2009.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P. Comparação de penetrômetros na avaliação da compactação de latossolos. Engenharia Agrícola. 27:146-151. 2007.

CAMARGO, O. A. & ALLEONI, L. R. F. Reconhecimento e medida da compactação do solo. 2006. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2006\\_2/C6/Index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/C6/Index.htm)>. Acesso em 20 mai. 2015.

DEXTER, A. R.; CZYZ, E. A. & GATE, O. P. A method for prediction of soil penetration resistance. Soil & Tillage Research, 93:412-419, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. rev. ampl.- Brasília, DF: Embrapa Solos, 2013. 353p.

LIMA, R. P.; LEON, M. J. & SILVA, A. R. Comparação entre dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração. Revista Ceres, 60:577-581, 2013.

MORAES, M. T.; SILVA, V. R.; ZWIRTES, A. L. & CARLESSO, R. Use of penetrometers in agriculture: A review. Engenharia Agrícola, 34:179-193, 2014.

RAMOS, B. Z.; PAIS, P. S. M.; FREITAS, W. A. & DIAS JUNIOR, M. S. Avaliação dos atributos físico-hídricos em um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes sistemas de manejo-Lavras/Minas Gerais/Brasil. Revista de Ciências Agrárias, 36:440-446, 2013.

RIBON, A. A. & TAVARES FILHO, J. Estimativa da resistência mecânica à penetração de um Latossolo Vermelho sob cultura perene no norte do estado do Paraná. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:1817-1825, 2008.

SERAFIM, M.E.; VITORINO, A.C.T.; SOUZA, C.M.A.; PRADO, E.D.; VENTURIN, J.C. & YAMAMOTO, N.T. Desenvolvimento de um penetrógrafo eletromecânico de bancada. Revista Científica e Técnica Agropecuária. 17:61-65, 2008.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 15:229-235, 1991.



TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. & LIBARDI, P.L.  
Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um  
Latosolo Roxo sob plantio direto. Revista Brasileira de  
Ciência do Solo, 22:573-581, 1998.