

AVALIAÇÃO DE UM MINI PENETRÔMETRO DINÂMICO PARA A DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO DE RAÍZES

LUDMILA GOMES FERREIRA^{1*}; JOSÉ FERNANDES DE MELO FILHO²;
JOÃO ALBANY COSTA³; ANA CAROLINA RABELO NONATO⁴;
RAQUEL ALMEIDA CARDOSO DA HORA⁵

¹Mestranda SQE/CNPq, CCAAB UFRB, Cruz das Almas-BA, ludmila.gf@gmail.com;

²Dr. em Ciência do Solo, Prof. Associado, CCAAB, UFRB, Cruz das Almas-BA, jfmelo@ufrb.edu.br;

³BSc. em Agronomia, Prof. Assistente CCAAB, UFRB, Cruz das Almas-BA, albany@ufrb.edu.br;

⁴Mestranda SQE/CNPq, CCAAB UFRB, Cruz das Almas-BA, eng.anacarol@gmail.com;

⁵Mestranda CS/CNPq, DCS UFC, Fortaleza-CE, rakeldahora@gmail.com;

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018

21 a 24 de agosto de 2018 – Maceió-AL, Brasil

RESUMO: A resistência do solo à penetração indica a dificuldade que o mesmo oferece ao crescimento das raízes das plantas, cuja determinação pode ser realizada por métodos de campo e de laboratório. No campo utiliza-se o penetrômetro dinâmico de impacto e em laboratório o penetrógrafo estático de bancada. Em ambos os casos se verifica a existência de algumas limitações. No primeiro caso, tem-se a dificuldade de padronização da umidade, dificultando comparações e a padronização das medidas e no segundo, os custos associados a necessidade de equipamentos eletrônicos específicos. Nesse sentido o mini penetrômetro dinâmico de impacto tem potencial para superar as duas limitações, tendo em vista que pode ser utilizado em laboratório, em condições de umidade padronizada e tem custo muito baixo. Nesse contexto o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de um mini penetrômetro dinâmico de bancada para determinação da resistência do solo à penetração. Para tanto, amostras de solos de duas classes texturais diferentes, com teores de umidade padronizados, foram submetidas a quantificação da resistência à penetração em dois equipamentos: Penetrômetro eletrônico de bancada modelo MA – 933® marca Marconi, considerado padrão e Mini Penetrômetro dinâmico de bancada. Os resultados mostram que os valores quantificados pelo mini penetrômetro dinâmico de bancada foram, independente da textura do solo, superiores aos determinados pelo penetrômetro eletrônico, porém, significativamente diferentes para o material de solo com textura arenosa média e iguais para o material de solo com textura argilosa média. Revelam também que os ajustes das medidas obtidas com o mini penetrômetro dinâmico de bancada foram altamente significativos e correlacionados com o conteúdo de água.

PALAVRAS-CHAVE: Compactação, equação de regressão, material de solo.

EVALUATION OF A MINI DYNAMIC PENETROMETER FOR DETERMINATION OF SOIL RESISTANCE TO PENETRATION OF ROOTS

ABSTRACT: The resistance of the soil to penetration indicates the difficulty that it offers to the growth of the roots of the plants. It is an attribute that reveals the degree of soil compaction, being fundamental to evaluate its quality. The purpose of this work was to evaluate the performance of a mini dynamic penetrometer on determining soil resistance to penetration. Two sites were selected for the collection of soil materials, one with sandy and the other clayey texture. In laboratory, the saturated samples were submitted to tensions of 1, 2, 4, 6, 10, 101, 304, 507 and 1,520 kPa, in order to determine their water content and their corresponding resistance to penetration using two types of equipment: 1. An Electronic Penetrometer model MA-933 ® mark Marconi and 2. A Mini-Dynamic Penetrometer. After this procedure, the two sets of data pairs were plotted on a graph of resistance to penetration versus gravimetric moisture and regression equations were fitted, choosing the models that presented the highest coefficient of determination. The results show that the values measured by the mini bench dynamometer were, regardless of the soil texture, higher than those determined by the electronic penetrometer, but significantly different for the soil material with medium sandy texture and the same

for the textured soil material clayey. They also reveal that the adjustments of the measurements obtained with the mini dynamic penetrometer bench were highly significant and correlated with the water content. **KEYWORDS:** Compaction, regression equation, soil material.

INTRODUÇÃO

A resistência à penetração serve para descrever a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele. Está diretamente correlacionada com vários atributos e condições do solo, como a textura, a estrutura, a estabilidade dos agregados, a densidade do solo, o conteúdo de matéria orgânica e, principalmente, a umidade no momento da determinação (Stolf et al., 1983; Moraes et al., 1995; Giarola et al., 2001; Pedrotti et al., 2001; Aguiar, 2008; Ribon & Tavares Filho, 2008).

A quantificação da resistência à penetração é realizada medindo-se a penetração, no solo, de uma haste cuja extremidade tem um cone com características específicas (ASABE, 2006), o qual é chamado de penetrômetro (Bengough & Mullins, 1990; Fernandes et al., 2007). Trata-se de um equipamento largamente utilizado em estudos de quantificação dos efeitos dos sistemas de manejo na degradação física de solos cultivados, tanto em condições de campo (convencional), ou em laboratório (eletrônica) (Stolf, 1991).

Devido a diversidade de modelos de equipamentos de medição da resistência à penetração, a reprodução dos dados pode gerar diferentes magnitudes de resultados, sendo a uniformização do teor de umidade do solo no momento da quantificação, o fator de padronização e universalização das medidas realizadas. Neste contexto o mini penetrômetro é apresentado como uma miniatura dos equipamentos de impacto descritos na literatura para a determinação de campo. Apresenta o mesmo princípio de funcionamento, tem custo acessível, fácil utilização, sensibilidade e confiabilidade, condições que podem favorecer a sua adoção em maior escala (Stolf, 1991; Vaz et al., 2001; Sá et al., 2007). Adicionalmente, possibilitam a obtenção de medidas em conteúdos padronizados de umidade. Nesse sentido. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho de um mini penetrômetro dinâmico de bancada para determinação da resistência à penetração do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em amostras, do tipo indeformada, de material de solo de duas classes texturais distintas, sendo o material de solo 1, de textura arenosa média e o material de solo 2, de textura média argilosa, com 30 repetições por material de solo.

Figura 1. Aparelhos utilizados para a determinação da resistência à penetração. (a) penetrômetro eletrônico de bancada modelo MA – 933® da marca Marconi; (b) mini penetrômetro dinâmico de bancada.



(a)



(b)

As determinações da resistência à penetração de raízes (Stolf, 1991) foram realizadas em dois aparelhos. O primeiro, considerado de referência, foi o penetrômetro eletrônico de bancada (RPELE) modelo MA – 933® da marca Marconi (Figura 1a). O segundo aparelho, objeto desta avaliação, foi o mini penetrômetro dinâmico de bancada (Figura 1b), construído conforme as indicações de Sá et al., (2007). As amostras foram saturadas e posteriormente submetidas as tensões de 1, 2, 4, 6, 10, 101, 304, 507 e 1.520 kPa para extração do correspondente conteúdo de água, conforme descrito em Embrapa (1997). Com este procedimento possibilitou-se a elaboração de dois conjuntos de pares de dados de

resistência à penetração versus umidade do material de solo para cada condição textural e aparelho. Os conjuntos de pares de dados foram submetidos a análises de estatística descritiva e utilizados para análise de regressão e ajuste a modelos não lineares do tipo potencial (Busscher,1990), considerando-se como variável dependente a resistência à penetração (RP) e independentes, o de conteúdo de água (Ug) e a densidade do solo (Ds). Para complementar a análise de regressão realizou-se uma avaliação de análise de trilha para estimativa de coeficientes que medem a relação linear direta de uma variável sobre outra, no contexto de causa e efeito pelos desdobramentos das correlações estudadas.

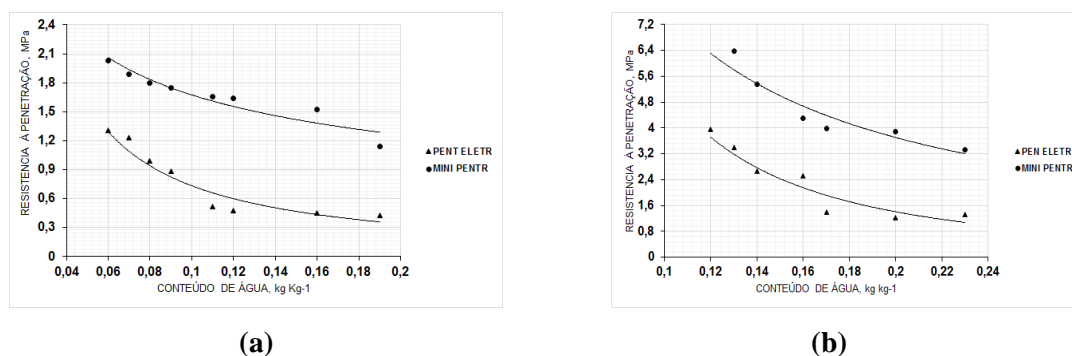
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 1. Estatística descritiva para resistência do solo à penetração de raízes, determinada com dois equipamentos em materiais de solo com diferentes texturas

Aparelho	Média	D. Padrão	Mínimo	Máximo	CV
	MPa				
Solo de textura Arenosa média					
RP _{ELE}	0,78a	036	0,43	1,31	46,26
RP _{MINI}	1,68b	0,27	1,14	2,03	16,00
Solo de textura Média argilosa					
RP _{ELE}	2,09c	0,90	1,23	3,41	43,12
RP _{MINI}	4,54d	1,12	3,30	6,34	24,76

Observando-se a Tabela 1, verifica-se que a resistência à penetração, independentemente da classe textural do material, apresentou diferença estatística significativa entre as medidas médias dos equipamentos utilizados para quantificá-la, os quais foram sempre superiores quando quantificados no mini penetrômetro dinâmico de bancada. Nesta comparação a relação observada entre os valores médios registrados pelo mini penetrômetro foi 2,17 vezes maior que no penetrômetro eletrônico no material de solo de textura arenosa média, enquanto que no material de textura média argilosa, a razão encontrada foi um pouco menor, de 2,13 vezes em favor do mini penetrômetro. Independente da classe textural relação média foi de, aproximadamente, a 2,1 vezes. Essas diferenças nas medidas absolutas indicam a necessidade de estabelecimento de um fator de correção para que os valores quantificados no aparelho mini penetrômetro possam ter validade e aplicabilidade prática. Outra constatação refere-se a dispersão dos valores (Tabela 1), tendo-se verificado que, de forma até mesmo não esperada, a variação das medidas foi muito menor quando realizadas com o mini penetrômetro dinâmico de bancada, muito embora, em ambos os casos tenham sido classificadas como de média variação segundo a proposição de Warrick e Nielsen (1980).

Figura 2. Relação entre resistência à penetração e conteúdo de água quantificada em penetrômetro eletrônico e mini penetrômetro dinâmico em dois matérias de solo: (a) material de textura arenosa média e (b) material de textura média argilosa.



A curva de resistência é considerada um parâmetro de grande utilidade nas avaliações da qualidade física do solo, pois possibilita identificar valores de umidade e densidade do solo críticos para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (Imhoof et al., 2000). As curvas de resistência à

penetração (RP) em relação ao conteúdo de água no solo (Ug) nas duas condições estudadas estão representadas na Figura 2, e os correspondentes modelos ajustados na Tabela 2.

Analisando-se a Figura 2, observa-se que, independente da textura do solo, a resistência mecânica do solo à penetração de raízes variou negativamente e de forma potencial com conteúdo de água no material de solo. Para esta relação ajustou-se o modelo mais utilizado na literatura, desenvolvido por Busscher (1990), o qual propôs um modelo não linear relacionando o índice de cone (IC) com a densidade do solo (Ds) e conteúdo de água do solo (Tabela 2). Verificou-se que as correlações ajustaram-se ao modelo de Busscher (1990) de forma altamente significativa (Teste $F_{-0,05}$) e foram representativos (R^2).

No entanto, a correlação simples permite apenas avaliar a magnitude e o sentido da associação entre duas variáveis, mas não fornece as informações necessárias sobre os efeitos diretos e indiretos de um grupo de variáveis independentes em relação a uma variável dependente. Neste sentido, uma ferramenta complementar para os estudos de correlação é a análise de trilha, cujos resultados possibilitam verificar a magnitude dos efeitos diretos e indiretos de variáveis independentes sobre uma variável dependente, possibilitando simplificações que facilitam a aplicação da técnica sem perdas de significativas de precisão que venham comprometer à sua aplicação prática. Os resultados da aplicação desta técnica estatística no presente estudo revelaram que para o material de solo de textura arenosa média somente o conteúdo de água do solo teve efeito direto, com coeficiente de correlação negativo, sobre a resistência à penetração nas quantificações dos dois equipamentos. Da mesma forma os efeitos indiretos tanto do conteúdo de água quanto da densidade do solo foram de pouca expressão. No material de solo de textura média argilosa, o conteúdo de água teve efeito direto muito expressivo, também com relação negativa, sobre a resistência a penetração, enquanto a densidade do solo teve efeito direto, positivo, porém pouco expressivo, sobre a resistência a penetração.

Considerando-se que somente a variável conteúdo de água do solo apresentou efeito direto e expressivo sobre a RP, torna-se possível ajustar uma equação potencial, mais simples, do tipo: $RP = a \times Ug^b$, onde RP é a variável dependente, resistência à penetração, Ug é a variável independente, conteúdo gravimétrico de água no solo, sendo a e b coeficientes da função, as quais estão registradas na Tabela 2.

Tabela 2. Equações ajustadas para relação entre resistência à penetração, RP, (MPa) e conteúdo de água, Ug, ($kg\ kg^{-1}$) em dois materiais de solo com diferentes texturas

Aparelho	Equação	R^2
Textura Arenosa média		
RP _{ELE}	$RP = 0,056879Ug^{-1,11124}$	0,8959
RP _{MINI}	$RP = 0,653693Ug^{-0,408411}$	0,8654
Textura Média argilosa		
RP _{ELE}	$RP = 0,077012Ug^{-1,80894}$	0,8550
RP _{MINI}	$RP = 0,693731Ug^{-1,04113}$	0,8930

Aplicando-se o teste t de Student para avaliar a diferença entre os coeficientes das regressões (b1 - b2) das equações simplificadas (Tabela 2) para ajuste da relação da variável conteúdo de umidade versus resistência à penetração do material de solo de textura arenosa média, verifica-se que a mesma foi significativa ($t = 4,41^*$) à 5% revelando que o coeficiente (b(MIM) = -0,408411) foi estatisticamente superior ao coeficiente (b(ELE) = -0,408411) do ajuste para o penetrômetro eletrônico, indicando que os valores medidos pelo mini penetrômetro são realmente superiores àqueles determinados com o penetrômetro eletrônico em materiais de solo com textura arenosa média. No entanto a aplicação do mesmo critério para a comparação dos coeficientes de ajuste das medidas realizadas no material de solo de textura média argilosa indicou que os coeficientes de ajuste (b(MIM) = -1,04113) e (b(ELE) = -1,808940) não foram estatisticamente diferentes ($t = 2,31ns$), resultado que tornam as medidas dos equipamentos estatisticamente iguais para o material de solo de textura mais fina.

CONCLUSÃO

O mini penetrômetro dinâmico de bancada superestima em 2,1 vezes o valor da resistência a penetração de raízes, independentemente da classe textural do solo, condição que determina a necessidade de calibração para o correto ajuste das medidas obtidas.

Os ajustes das medidas de resistência à penetração realizadas com o mini penetrômetro dinâmico de bancada foram altamente significativos e negativamente correlacionados com o conteúdo de água do solo, possibilitando a obtenção de modelos de ajuste com elevado grau de correlação.

REFERÊNCIAS

- Aguiar, M. I. Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2008. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- ASABE - American Society of Agricultural and Biology Engineering. Standards 2006 93: ASABES313.1 FEB 04 Soil cone penetrometer. St. Joseph: ASABE, p.391-398, 2006.
- Benghough, A. G.; Mullins, C.E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. *Journal of Soil Science*, v.41, p.341-358, 1990.
- Busscher, W. J. Adjustment of flatipped penetrometer resistance data to a common water content. *Transactions of the ASAE*, v.33, p.519-523, 1990.
- EMBRAPA. Embrapa Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, p.212; 1997.
- Fernandes, J.C.; Rodrigues, J.G.L.; Gamero, C.A.; Acosta, J.J.B.; Lanças, K.P. Resistência do solo à penetração em diferentes sistemas de manejo e velocidades de semeadura no desenvolvimento de um cultivar de triticale. *Energia Agrícola*, v.3, n.2, p.112-120, 2007.
- Giarola, N.F.B.; Silva, A.P.; Tormena, C.; Souza, L.S.; Ribeiro, L.P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento Hardsetting: Estudo de caso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, n.1, p.239-247, 2001.
- Imhoff, S., Silva, A. P.; Tormena, C.A. Aplicações da resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.55, n.7, p.1493-1500, 2000.
- Moraes, M. H.; Benez, S. H.; Libardi, P. L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. *Bragantia*, v.54, n.2, p.393-403, 1995.
- Pedrotti, A.; Pauletto, E. A.; Crestana, S.; Ferreira, M.M.; Gomes, A.S.; Turatti, A.L. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.25, n.3, p.521-529, 2001.
- Ribon, A. A.; Tavares Filho, J. Estimativa da resistência mecânica a penetração de um Latossolo Vermelho sob cultura perene no norte do estado do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.5, p.1817-1821, 2008.
- Sá, M. A. C; Santos Junior, J. D. G; Resck, D. V. S; Ferreira, E. A. B; Franz, C. A. B. Mini penetrômetro dinâmico para determinação da resistência à penetração em amostras de solo indeformadas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.11, p.1659-1662, 2007.
- 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*, v.15, n.3, p.229-235, 1991.
- Stolf, R.; Fernandes, J.; Urlani Neto, V.L. Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto - modelo IAA/Planalsucar - Stolf. (Boletim, 1). São Paulo, MIC/IAA/ PNMCA Planalsucar, p.8. 1983.
- Vaz, C.M.P.; Hopmans, J.W. Simultaneous measurement of soil penetration resistance and water content with a combined penetrometer-TDR moisture probe. *Soil Science Society of America Journal*, v.65, p.4-12, 2001.
- 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, p. 350, 1980.