

Efeito da umidade e densidade do solo na resistência a penetração de um solo de textura Areia Franca

André Pereira Freire Ferraz^(1*); Rodolfo Marcondes Silva Souza⁽¹⁾; Eduardo Soares de Souza⁽²⁾; Antônio Celso Dantas Antonino⁽³⁾; Diana Ferreira de Freitas Simões⁽²⁾; Rossanna Barbosa Pragana⁽²⁾.

⁽¹⁾ Engenheiro Agrônomo e Mestrando em Produção Vegetal; Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada; Serra Talhada, Pernambuco; Fazenda Saco, s/n. Caixa Postal 063; E-mail: rodolfomssouza@gmail.com; *Bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior;

⁽²⁾ Professor Adjunto da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada;

⁽³⁾ Professor Associado da Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Energia Nuclear.

RESUMO: A resistência do solo à penetração traduz a força que as raízes exercem para romper o solo. Trata-se de uma propriedade do solo dependente da densidade, da textura e do conteúdo de água, e que pode ser utilizada como indicativo de compactação. O objetivo da pesquisa foi determinar e correlacionar a resistência do solo à penetração (RP) com a conteúdo volumétrico de água (θ) e a densidade do solo (D_s) a partir de um modelo de regressão não-linear e da análise de correlação de trilha, sendo a RP a variável dependente e θ e D_s as variáveis independentes. Foram realizadas medidas de RP até 50 cm de profundidade de um solo de uma parcela experimental de 7,0 m², no período de 27/12/2012 a 06/02/2013 com quatro repetições por dia de medida. Paralelamente, amostras de solo foram coletadas para determinação de θ , D_s e textura do solo. Nesse estudo θ e D_s responderam por 72,3% das variações de RP e o valor do conteúdo de água no solo que corresponde a RP considerada crítica é de 0,163 cm³ cm⁻³. O conteúdo de água θ tem efeito direto e correlação negativa com a RP.

Termos de indexação: Penetrômetro de impacto, compactação, propriedades do solo.

INTRODUÇÃO

A compactação do solo promove uma série de efeitos negativos quanto as suas propriedades físicas, o que além de reduzir o volume de poros e a velocidade de infiltração da água no solo, também influencia no crescimento radicular das culturas. Em solos agrícolas diversos trabalhos apontam para uma redução da produção em função do aumento da compactação, sobretudo em áreas sob intensas atividades de mecanização ou pastejo dos animais (Kaiser et al., 2009; Carvalho et al., 2012; Montanari et al., 2013).

A resistência de solo à penetração representa a força que as raízes exercem para romper o solo e geralmente é dependente da densidade do solo, da

textura e do conteúdo de água, podendo ser utilizada como indicativo de compactação. Entre os diversos instrumentos utilizados para determinação dessa propriedade do solo, o penetrômetro de impacto modelo Stolf apresenta as seguintes vantagens: fácil manuseio, menor interferência do operador nas medições, dispensa calibração e custos reduzidos (Stolf et al., 1983), sendo esses fatores fundamentais para a sua popularização em medições da resistência do solo à penetração.

Os trabalhos em ciência do solo que objetivam correlacionar duas ou mais propriedades são de grande importância, uma vez que podem reduzir custos com metodologias e amostragens. Entretanto, devem se tomar cuidados quanto as interpretações de tais correlações onde por exemplo o coeficiente de correlação linear simples nem sempre é suficiente para explicar as variações de uma determinada propriedade em detrimento dos vários fatores que atuam desde da formação até o manejo do solo (Pacheco & Cantalice, 2011), e que ainda apresenta variações no espaço e no tempo (Kaiser et al., 2009).

Entre os métodos para análise do grau de associação entre as propriedades do solo, a análise de trilha permite avaliar os efeitos diretos e indiretos de um conjunto de variáveis explicativas (independentes) na variável dependente (variável resposta). No manejo do solo a escolha adequada da propriedade ou conjunto de propriedades a serem corrigidas pode reduzir os custos bem como o tempo de recuperação dos solos.

Diante do exposto, a presente proposta teve com objetivo correlacionar e estudar o efeito da umidade e da densidade do solo na resistência a penetração em um solo de textura areia franca no semiárido pernambucano.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental da Unidade Acadêmica de Serra (07°57'08" S e 38°17'19" O), pertencente a Universidade Federal Rural de Pernambuco

(UFRPE). O clima é classificado por Köppen como Bsh, semiárido, caracterizando-se por ser quente e seco, com chuvas de verão. A temperatura média e a precipitação anual é de 25 °C e 650 mm, respectivamente (Melo et al., 2008). O solo da parcela experimental é classificado como Cambissolo (EMBRAPA, 2006).

Na parcela onde foram realizadas as medidas de resistência à penetração foi instalada uma bateria de tensiômetros entre as camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm de profundidade para auxiliar no monitoramento das umidades e no momento de fazer as medições de RP. A parcela de aproximadamente 7,0 m² foi delimitada utilizando uma chapa de zinco cravada no solo cerca de 5,0 cm para evitar o escoamento da água pela lateral, onde em seguida se procedeu com o umedecimento do solo até que as colunas de mercúrio dos tensiômetros marcassem valores próximos a zero. A partir desse instante foram iniciadas as medições de RP à medida que o conteúdo volumétrico da água no solo foi diminuindo.

A resistência à penetração (RP) foi determinada a partir do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar/Stolf, que avalia a capacidade de penetração de uma haste metálica submetida aos impactos de um peso que cai de uma altura constante em queda livre. A resistência à penetração foi obtida a partir da contagem do número de impactos necessário para que a haste penetrasse em determinada camada de solo. Em seguida os dados foram transformados em resistência dinâmica em MPa por meio da equação proposta por Stolf (1991):

$$RP=[5,6+6,8(n^{\circ} \text{ impac})]0,098 \quad (1)$$

onde RP é a resistência a penetração [MPa], n^o impac é o número de impactos dm⁻¹.

No período de 27/12/2012 a 06/02/2013 (42 dias) foram realizadas seis amostragens da RP no perfil do solo com determinações até 50 cm de profundidade, sendo escolhidos por amostragem quatro pontos (repetições) de forma aleatória dentro da parcela experimental. Ao lado de cada ponto escolhido foram coletadas amostras de solo para determinar a umidade gravimétrica. Ao término do experimento foram coletadas amostras de solo indeformadas e deformadas para determinar a densidade do solo (Ds) e a textura, respectivamente.

Os dados experimentais de RP foram ajustados em função de Ds e θ pela equação proposta por Jakobsen & Dexter (1987):

$$RP(Ds,\theta)=\exp(a+bDs+c\theta) \quad (2)$$

sendo a, b e c parâmetros de ajuste [adimensionais], Ds a densidade do solo [g cm⁻³] e θ a umidade do solo na base de volume [cm³ cm⁻³].

As análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico R 3.0.0 (R Core Team, 2013), além do pacote agricolae (de Mendiburu, 2013) para a análise de trilha objetivando quantificar o grau de associação entre a variável dependente (RP) e as variáveis independentes (θ e Ds).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As propriedades físicas do solo são apresentadas na **tabela 1**. Embora Ds não tenha apresentado diferenças significativas entre as camadas de acordo com o teste de Tukey (5%), o maior valor ocorreu na camada de 10-20 cm. Com relação as frações texturais, a porcentagem de areia para todas as camadas foi superior a 78 % e o solo foi classificado quanto a textura como Areia Franca. As frações de silte apresentaram menor variação no perfil que as frações de areia e argila. Solos de textura arenosa tendem a apresentar altos valores de densidade do solo, o que está relacionado diretamente com as partículas de origem primária, além disso, os processos de cultivos também colaboram para o aumento dessa propriedade do solo.

Tabela 1. Frações texturais e Teste de Tukey para densidade do solo no perfil estudado.

Camada	Ds g cm ⁻³	----- % -----		
		Areia	Silte	Argila
0-10	1,65 a	81,53	13,78	4,69
10-20	1,73 a	79,98	11,81	8,21
20-30	1,69 a	80,60	11,20	8,21
30-40	1,67 a	78,83	14,14	7,03
40-50	1,64 a	81,80	12,34	5,86

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade; Ds é a densidade do solo.

Na **figura 1** é apresentada a correlação entre RP, θ e Ds. A linha sólida corresponde ao ajuste da **equação 2**, enquanto que a linha tracejada corresponde a comparação entre os valores observados e estimados de RP. Observa-se que para valores de RP superiores a 5,0 MPa há uma maior dispersão dos pontos em relação as retas no gráfico, tanto para o ajuste da **equação 2** como para a comparação entre RP observada e estimada. Os valores dos parâmetros de ajuste a, b e c (**Figura 1a**) apresentaram magnitude semelhante aos encontrados por Vaz et al. (2011) para um perfil de solo Quartzarênico com textura areia franca e magnitude distinta para os perfis de solo com

textura argilosa evidenciando o efeito da textura em tais parâmetros.

O coeficiente de correlação foi igual a 0,741 e o erro quadrático (RMSE) igual a 2,51 MPa (**Figura 1b**), sendo esse erro alto para RP uma vez que é próximo aos valores considerados limitantes para algumas culturas. Valores de RMSE semelhantes são apresentados por Vaz et al. (2011) para análises de correlações quando os valores do R^2 foram próximos ou inferiores a 0,70.

O valor máximo de RP nesse trabalho foi de 27,04 MPa quando θ foi de $0,05 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, sendo a RP bem superior ao valor considerado crítico para algumas culturas, onde Kaiser et al. (2009) verificaram que 3,0 MPa impediu o desenvolvimento do sistema radicular do feijoeiro. Dessa forma, a máxima RP foi aproximadamente 9,0 vezes superior ao valor considerado crítico.

Valores de RP acima do valor considerado crítico são frequentemente reportados na literatura, principalmente na camada de 20-30 cm. Vaz et al. (2011), para essa camada, encontraram RP superior a 16 MPa. Carvalho et al. (2012) encontraram em solo cultivado com eucalipto RP superior a 6,0 MPa. Em um Argissolo de textura Franco Arenosa Silveira et al. (2010) encontraram maior de valor de RP para a camada de 20-40 cm de profundidade, que foi igual a 6,22 MPa.

Na **tabela 2** são mostrados os resultados da análise de trilha onde observa-se que entre θ e Ds, apenas θ teve efeito direto sobre RP e com correlação negativa e significativa a 1% de probabilidade, ou seja, RP diminui na medida que θ aumenta. A Ds não apresentou efeitos diretos ou indiretos em RP.

Tabela 2. Desdobramento das correlações lineares em efeitos diretos e indiretos da umidade e da densidade do solo sobre a resistência a penetração.

Variável	θ	Ds	Total
θ	-0,667	-0,003	-0,670 **
Ds	0,007	0,273	0,280
Coeficiente de determinação (R^2)			0,723
Efeito da variável residual ($\rho\epsilon$)			0,476

* correlação de Pearson significativa a 5%, para o efeito total; ** correlação de Pearson significativa a 1%, para o efeito total; Leituras dos efeitos diretos (coeficiente de trilha) sobre a variável respostas na diagonal, em negrito, e dos efeitos indiretos na horizontal; ρ é a umidade do solo na base de volume; Ds é a densidade do solo.

Pacheco & Cantalice (2011) encontraram efeito direto e correlação positiva da densidade do solo na resistência à penetração medida em laboratório para um Argissolo de textura média/argilosa.

Os resultados da análise de trilha mostraram que Ds e θ responderam por 72,3% das variações de

RP. O coeficiente de determinação resultante da análise de trilha foi semelhante ao R^2 do ajuste da **equação 2** (0,741).

Considerando o efeito direto de θ em RP e os valores dos parâmetros a, b e c obtidos com o ajuste da **equação 2**, a umidade crítica para esse solo é de $0,163 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, valor que corresponde a uma RP de 3,0 MPa.

CONCLUSÕES

A máxima resistência à penetração do solo estudado é cerca de 9,0 vezes maior que o valor considerado crítico.

O erro quadrático das estimativas de RP em função de Ds e θ é semelhante ao valor considerado crítico nesse estudo.

A umidade do solo tem efeito direto e correlação negativa com a resistência à penetração e os coeficientes de determinação da regressão e da análise de trilha são semelhantes.

AGRADECIMENTOS

A CAPES pela concessão de bolsa, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (UFRPE) e ao Departamento de Energia Nuclear (UFPE) pelo apoio dado para o desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, A. P. V.; DIAS, H. C. T.; PAIVA, H. N. & TONELLO, K. C. Resistência mecânica do solo à penetração na bacia hidrográfica do Riacho Fundo, Felixlândia-MG. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.36, n.6, p.1091-1097, 2012.

de MENDIBURU, F. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.1-4, 2013.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: EMBRAPA - Serviço de Produção da Informação; Rio de Janeiro, EMBRAPA solos, 2006. 306p.

JAKOBSEN, B. F. & DEXTER, A. R. Effect of soil structure on wheat root growth, water uptake and grain yield. A computer simulation model. *Soil & Tillage Research*, 10, 331-345, 1987.

KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; COLLARES, G. L. & KUNZ, M. Intervalo hídrico ótimo no perfil explorado pelas raízes de feijoeiro em um latossolo sob diferentes níveis de compactação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:845-855, 2009.

MELO, R. O.; PAHECO, E. P. & MENEZES, J. C.; CANTALICE, J. R. B. Susceptibilidade à compactação e correlação entre as propriedades físicas de um Neossolo sob vegetação de Caatinga. *Revista Caatinga*, v.21, n.5, p.12-17, 2008.

MONTANARI, R.; LIMA, E. S.; LOVERA, L. H.; GODOY, L. T. R. & DALCHIAVON, F. C. Correlación de la productividad de un forraje con las propiedades física de un Ultisol en Aquidauana. *Revista Ceres*, Viçosa, v.60, n.1, p.102-110, 2013.

PACHECO, E. P. & CANTALICE, J. R. B. Análise de trilha no estudo dos efeitos de atributos físicos e matéria orgânica sobre a compressibilidade e resistência à penetração de um argissolo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35:417-428, 2011.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S. & SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus

resistência à penetração para um argissolo amarelo distrocoeso no Recôncavo da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:659-667, 2010.

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

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

VAZ, C. M. P.; MANIERI, J. M.; MARIA, I. C. & TULLER, M. Modelling and correction of soil penetration resistance for varying soil water content. *Geoderma*, 166, 92-101, 2011.

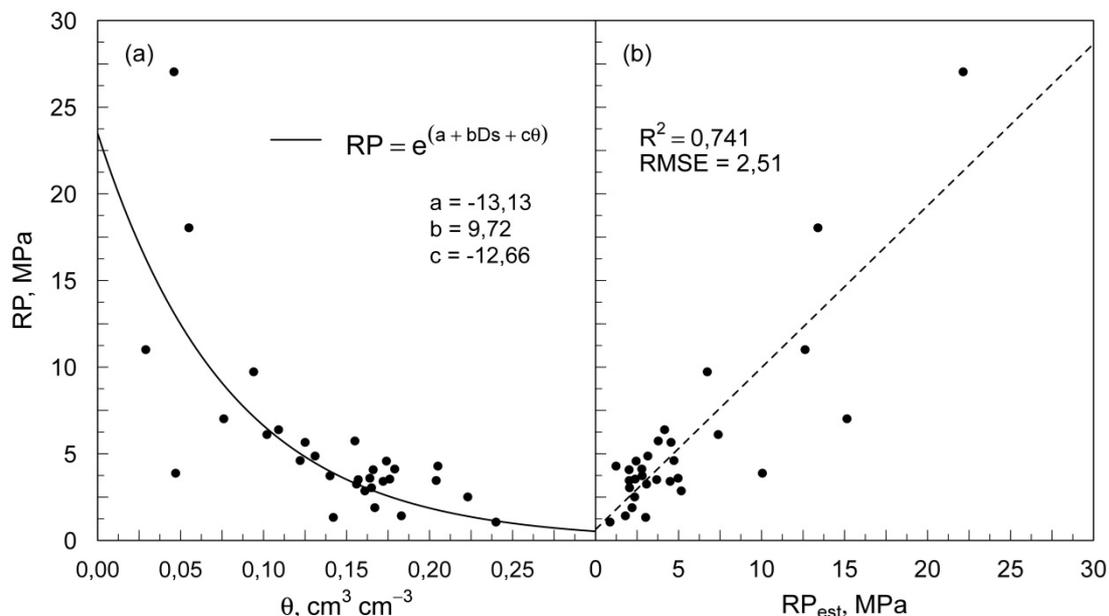


Figura 1. Resistência à penetração em função da umidade e da densidade do solo (a) e a comparação entre os valores medidos e estimados de resistência a penetração (b).