



Densidade crítica em função da resistência do solo à penetração⁽¹⁾

Raphael Leone da Cruz Ferreira⁽⁵⁾; Michel Keisuke Sato⁽²⁾; Herdjanía Veras de Lima⁽³⁾; Pedro Daniel de Oliveira⁽⁴⁾; Luma Castro de Souza⁽²⁾; Ronielton Coelho⁽⁵⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos DAAD; ⁽²⁾ Mestrando em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia - Belém, PA - michelksato@hotmail.com; ⁽³⁾ Professora da Universidade Federal Rural da Amazônia - Belém, PA; ⁽⁴⁾ Doutorando em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia - Belém, PA; ⁽⁵⁾ Graduando em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia - Belém, PA;

RESUMO: Valores críticos de resistência à penetração e densidade do solo são usados para identificar quando as características de armazenamento e transmissão de fluídos no solo não estejam se comportando adequadamente devido a compactação do solo. Objetivou-se identificar a densidade crítica em função da resistência à penetração num Latossolo Amarelo de textura franco-arenosa submetida a diferentes níveis de compactação em vasos cilíndricos. Amostras indeformadas foram coletadas para cada nível estudado na determinação da densidade do solo e curva de resistência à penetração. Valores de densidade crítica (Dsc) de 1,58, 1,68 e 1,75 g.cm⁻³ foram obtidas a partir dos valores de resistência à penetração restritiva ao crescimento radicular encontrados na literatura. A Dsc=1,58 g.cm⁻³ reduziu 22,3% e 24,1% do comprimento radicular e massa seca da raiz, respectivamente. Considera-se aceitável a redução de 10% do valor máximo, pode-se dizer que a Ds=1,58 g.cm⁻³ limita crescimento radicular da soja.

Termos de indexação: compactação do solo; cultura da soja; Latossolo Amarelo.

INTRODUÇÃO

Funcionalmente, uma estrutura de solo ideal é aquela que permite um espaço poroso suficiente e contínuo para o movimento de água e gases, e uma resistência do solo à penetração não impeditiva ao crescimento de raízes (Kopi & Douglas, 1991).

Alterações na estrutura do solo devido à compactação influenciam a infiltração e redistribuição de água, a difusão de gases, a disponibilidade de oxigênio no solo, reduz o crescimento de raízes podendo diminuir a eficiência de utilização da água e dos nutrientes pelas plantas (Hakansson & Voorhees, 1998).

Para avaliar o nível de compactação do solo, grande parte dos estudos tem utilizado a resistência do solo à penetração (RP) e a densidade do solo (Ds) (Nesmith, 1987; Reichert

et al., 2003) que são atributos físicos do solo que afetam diretamente o crescimento radicular.

Valores de RP limitantes ao crescimento de plantas têm sido sugeridos na literatura científica. Nesmith (1987) sugeriu a RP=1,5 MPa como restritivo ao crescimento radicular. Para Cavaliere et al. (2006) esse valor corresponde a 2,5 MPa. Um valor de resistência à penetração crítica (RPc) mais elevado de 3,5 MPa foi indicado por Merotto Jr. & Mundstock (1999).

Essa variação RPc encontrada literatura pode estar relacionada aos diferentes tipos de solos, condições de umidade do solo e tolerância das culturas utilizadas nos trabalhos científicos.

Em se tratando da densidade do solo, Reichert et al. (2003), considerando que esse atributo é dependente principalmente da classe textural do solo, propuseram o valor de Dsc de 1,25 a 1,3 g.cm⁻³ para solos muito argilosos, 1,3 a 1,4 g.cm⁻³ para solos argilosos, 1,4 a 1,5 g.cm⁻³ para franco-argilosos e 1,7 a 1,8 g.cm⁻³ para os franco-arenosos.

Pesquisas com essa abordagem são necessárias a fim identificar quando as características de armazenamento e transmissão de fluídos no solo não estejam mais se comportando adequadamente (Imhoff, 2002). Isto porque tais atributos determinam as taxas dos processos fisiológicos ligados com o crescimento radicular, com a fotossíntese e com o crescimento foliar (Neves Junior, 2005).

Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo identificar a densidade crítica em função da resistência do solo à penetração em um Latossolo Amarelo de textura franco-arenosa.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desse trabalho foi montado um experimento em casa de vegetação com um Latossolo Amarelo, predominante na região Nordeste do Estado do Pará segundo o Projeto RADAM (1973), de textura franco-arenosa (48,7 g kg⁻¹ de silte, 756,2 g kg⁻¹ de areia e 195,1 g kg⁻¹ de argila) conforme análise granulométrica pelo método da pipeta (Gee & Bauder, 1986).

Coletou-se aproximadamente, uma porção de 0,4 m³ de solo na camada de 0–20 cm de profundidade. O solo foi seco ao ar e passado por peneira de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

Buscando atender as exigências da cultura da soja (*glycine max.*) foi realizada a correção do solo, usando o calcário dolomítico (PRNT=91%), visando aumentar a saturação de bases para 50%. Além disso, adubação fosfatada e potássica foi realizada com adição de 60 mg.dm⁻³ de P₂O₅ e 20 mg.dm⁻³ de K₂O no ato da semeadura (Raij et al. (1996).

Em seguida, foi ajustado o teor de água equivalente ao teor de água retida na tensão de 0,01 MPa (0,31 cm³.cm⁻³), determinada previamente em amostras deformadas.

Mantendo o solo sempre coberto para evitar perda de água, o mesmo foi colocado em vaso cilíndrico de PVC com capacidade de 14 L (altura de 29 cm e diâmetro de 23 cm), em camadas de 3 cm. Cada camada foi compactada por meio de quedas livres de um êmbolo de 7 kg, de uma altura de 60 cm, no centro geométrico de um suporte de madeira com diâmetro ligeiramente inferior ao do vaso (Figura 1), semelhante ao descrito por Moraes et al. (1991).

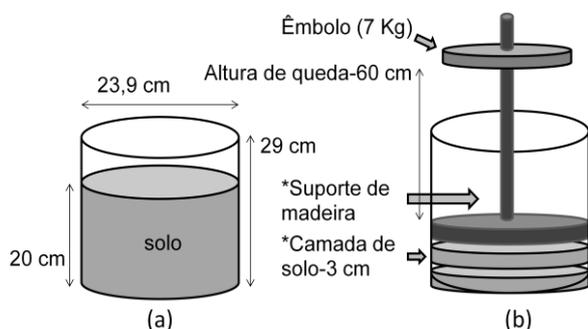


Figura 1: (a) Unidade experimental e (b) detalhe do método de compactação do solo.

Buscando reproduzir níveis de compactação do solo, foram realizados ensaios preliminares onde se alternava o número de quedas livres do êmbolo por vaso. Após o ensaio, cada unidade experimental foi preparada com um determinado número de quedas do êmbolo sobre as camadas de solo. Dessa forma, foram reproduzidos 5 níveis de compactação, com três repetições cada.

Com auxílio de anéis volumétricos (5x5 cm), foram coletadas oito amostras indeformadas por nível de compactação em vasos preparados separadamente.

No laboratório, as amostras indeformadas foram saturadas e então submetidas aos potenciais: 0, -0,003, -0,006, -0,01 MPa em mesas de tensão e, -0,03, -0,06, -0,1, -0,3 e -0,6

MPa em câmaras de pressão de Richards, conforme Tormena et al. (1998). Após alcançarem o equilíbrio nos potenciais descritos, as amostras foram pesadas para determinação do conteúdo de água no solo, resistência do solo à penetração (Tormena et al. (1998) e densidade do solo (Blake & Hartge, (1986).

Para o ajuste da Curva de Resistência do Solo à Penetração (CRS), foi utilizado o modelo não linear proposto por Busscher (1990), segundo os procedimentos descritos por Silva et al. (1994):

$$RP = d \cdot \theta^e \cdot ds^f \quad (1)$$

em que RP é a resistência do solo à penetração (MPa); θ é o conteúdo volumétrico de água (cm³.cm⁻³); Ds é a densidade do solo (g.cm⁻³) e d , e e f são parâmetros de ajuste do modelo.

A partir desse modelo, foi determinada a Dsc utilizando-se valores de RP , considerada na literatura como restritiva ao crescimento radicular, de 1,5 MPa (Nesmith, 1987); 2,5 MPa (Cavaliere et al., 2006); e 3,5 MPa (Merotto Jr. & Mundstock, 1999).

Para avaliar a influência dos diferentes níveis de compactação do solo no crescimento de plantas, foi realizada a semeadura da soja (*glycine max.*) em cada unidade experimental, posteriormente ao teste de germinação (taxa de germinação = 94%) e inoculação das sementes, segundo procedimentos da Embrapa (2009).

Durante o semeio da soja, cada vaso recebeu quatro sementes de soja da cultivar BRS Sambaiba, com ciclo de maturação (Pará) médio (111 a 125 dias) e hábito de crescimento determinado, semeadas na profundidade de 1,0 a 1,5 cm.

Na condução do experimento, o conteúdo de água no solo foi mantido na capacidade de campo, controlado diariamente por meio da pesagem dos vasos e reposição da água evapotranspirada por meio de irrigações superficiais.

Desbastes foram realizados até restar duas plantas de modo a obter densidade de plantas semelhante à média de densidade de plantio normalmente praticada para a espécie. O manejo fitossanitário se deu de forma diária através de monda e catação manual e esmagamento de insetos.

Após 60 dias da germinação, quando 50% das plantas encontravam-se no estágio R2 (pleno florescimento), foi realizada a separação e lavagem das raízes para determinação do comprimento radicular (CR) total pelo método de Tennant (1975). Em seguida, as raízes foram secadas em estufa a 60° C durante 48 horas e pesadas para determinação da massa seca da

raiz (MSR).

A análise estatística dos resultados consistiu da análise de regressão não linear entre os atributos do solo, e estes com as variáveis de crescimento da raiz, utilizando o programa estatístico Origin Pro 8.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise de variância do ajuste da CRS, foi observado que os parâmetros do ajuste ($a=0,0073$; $b=-1,1867$ e $c= 8,5341$) e o modelo utilizado foram significativos ($P<0,0001$, $R^2=0,90$).

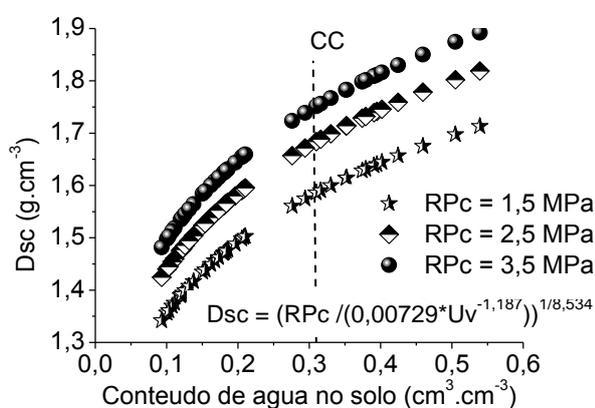


Figura 2: Densidade crítica (Dsc) considerando valores de resistência à penetração restritivos ao desenvolvimento das plantas (1,5; 2,5 e 3,5 MPa). A linha tracejada representa a umidade na capacidade de campo ($0,31 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$).

A figura 1 mostra as curvas de densidade crítica obtidas através dos valores restritivos de RP. Com aumento no conteúdo de água no solo, maiores valores de densidade do solo são possíveis sem que a RPc ao desenvolvimento radicular seja alcançada, ou seja, o aumento no conteúdo de água proporciona redução da RP.

Comportamento semelhante foi observado por Lima et al. (2007), avaliando a densidade crítica para as plantas em um Argissolo Vermelho de textura franco-arenosa. Esse fato se deve a propriedade lubrificante da água que diminui o atrito entre as partículas do solo, diminuindo assim a RP mesmo em elevado valor de Ds.

A partir da equação Busscher, fixando o conteúdo de água na capacidade de campo e variando os valores de RPc, foram obtidos os valores de densidade crítica igual a 1,58; 1,68 e $1,75 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ para a resistência à penetração de 1,5; 2,5 e 3,5 MPa, respectivamente.

Lima et al. (2007), encontraram valores de Dsc superiores ($1,68 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ para $RP=1,5 \text{ MPa}$, $1,83 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ para $RP=2,5 \text{ MPa}$ e $1,93 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ para $RP=3,5 \text{ MPa}$). As diferenças nos resultados podem estar relacionadas ao teor de argila, pois o

maior conteúdo de argila no solo do presente trabalho implica em maior número de cargas elétricas, o que favorece a formação de ligações entre as partículas minerais e, ou, partículas minerais e orgânicas (Silva et al., 2010)

Além disso, óxidos de ferro e alumínio, predominantes em Latossolos, atuam como agentes de ligação entre minerais, influenciando a estruturação do solo com reflexos na RP (Silva et al., 2010).

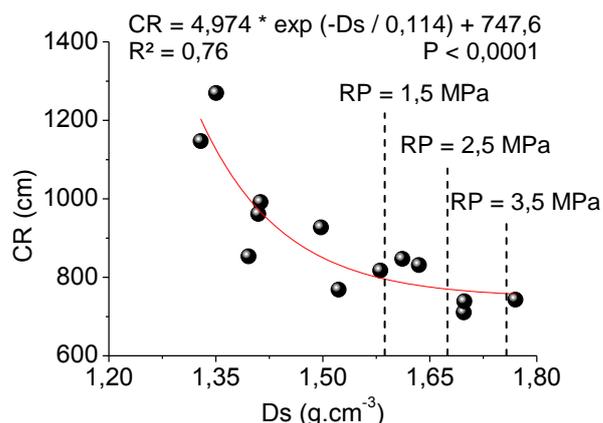


Figura 3: Comprimento radicular da soja em função da densidade do solo.

Nas figuras 2 e 3, são mostrados os efeitos do aumento na densidade do solo nas variáveis de crescimento da raiz. O modelo que melhor se ajustou aos dois conjuntos de dados foi o exponencial, com comportamento inversamente proporcional.

As análises de variância das regressões (figura 1 e 2) revelaram que a densidade do solo exerce influência significativa sobre o comprimento radicular ($R^2=0,76$ e $P<0,0001$) e sobre a massa seca da raiz ($R^2=0,89$ e $P<0,0001$).

Utilizando a equação de ajuste exponencial entre a Ds com o CR (Figura 1), e substituindo a Ds por $1,58 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ($D_{s1,5MPa}$), foi observado redução de 22,3% do valor máximo de comprimento radicular verificado no tratamento do trabalho. A partir desse valor de densidade, não foi verificado diferença até a quarta casa decimal com as demais Dsc ($1,68$ e $1,75 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$).

Substituindo os mesmos valores de Dsc na equação de ajuste entre Ds x MSR, presente na figura 3, verifica-se reduções de 24,1% ($D_{s1,5MPa}=1,58 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$), 30,1% ($D_{s2,5MPa}=1,68 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) e 33,4% ($D_{s1,5MPa}=1,75 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$) na massa seca da raiz.

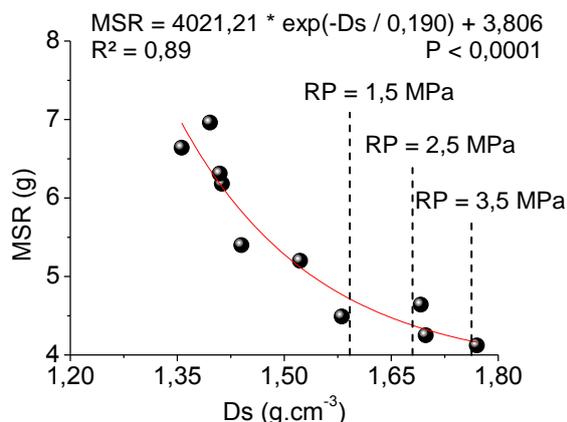


Figura 4: Massa seca da raiz em função da densidade do solo.

Considerando aceitável uma redução no desenvolvimento da planta de 10%, ou seja, um crescimento mínima de 90% daquela considerada máxima, conforme critério utilizado por Lima et al. (2010), pode-se afirmar então que a partir da $D_s = 1,58 \text{ g.cm}^{-3}$, o crescimento da raiz é limitante pela compactação do solo.

CONCLUSÕES

Com aumento no conteúdo de água no solo, maiores valores de D_s são possíveis sem a RPC ao desenvolvimento radicular seja alcançada.

A D_s de $1,58 \text{ g.cm}^{-3}$ é crítica para o desenvolvimento do sistema radicular da soja em um Latossolo Amarelo de textura franco-arenosa.

REFERÊNCIAS

BLAKE, G.R., HARTGE, K.H., 1986. Bulk density. In: Klute, A, ed. Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods. Am. Soc. Agron., 1: 363-375.

BUSSCHER, W.J., 1990. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. Trans. ASAE, 33: 519-524.

CAVALIERI, K.M.V.; TORMENA, C.A.; VIDIGAL FILHO, P.S.; GONÇALVES, A.C.A. & COSTA, A.C.S. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. R. Bras. Ci. Solo, 30:137-147, 2006.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). Methods of soil analysis. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. pt.1, p.383-411.

HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B. Soil compaction. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C.; STEWARD, B.A. (Ed.). Methods for assessment of soil degradation. Boca Raton: CRS Press, 1998. p.167-179. (Advances in Soil Science).

KOPI, A.J.; DOUGLAS, J.T. A rapid inexpensive and quantitative procedure for assessing soil structure with respect to cropping. Soil Use and Management, v.7, p.52-56, 1991.

LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S. Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.45, n.1, p.89-98, jan. 2010

LIMA, C.L.R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; SUZUKI, L.E.A.S.; DALBIANCO, L. Densidade crítica ao crescimento de plantas considerando água disponível e resistência à penetração de um Argissolo Vermelho distrófico arênico. Ciência Rural, Santa Maria, v.37, n.4, p.1166-1169, jul-ago, 2007.

MEROTTO JR., A.; MUNDSTOCK, C.M. Wheat root growth as affected by soil strength. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, p.197-202, 1999.

MORAES, M.H.; BENEZ, S.H.; LIBARDI, P.L. Influência de camadas compactadas de subsuperfície no desenvolvimento do sistema radicular de plantas de soja (Glycine max (L) Merrill). Científica, São Paulo, v.19, p.195-206, 1991.

NESMITH, D. S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultissol. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 51, p. 183-186, 1987.

NEVES JUNIOR, A. F. Avaliação da qualidade física de solos em pastagens degradadas da Amazônia. Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005. 65p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996, 285p. (Boletim Técnico 100).

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. Ci. Amb., 27:29-48, 2003.

SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; DIAS JUNIOR, M.S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V.A. Indicadores da qualidade física do solo. In: van Lier, Q.J., 1.ed. Física do Solo. Minas Gerais: Viçosa, 2010. p.241-282.

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. Journal of Applied Ecology, Oxford, v. 13, n. 3, p. 995-1001, 1975.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.22, p.573-81, 1998.